

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **ZAVRŠNI RAD**

**Luka Lindić**

Zagreb, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Lovorka Grgec Bermanec, dipl. ing.

Student:

Luka Lindić

Zagreb, 2019.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svima koji su mi pomogli u izradi ovog rada, a posebno profesorici dr.sc. Lovorki Grgec Bermanec na izdvojenom vremenu. Želio bih se zahvaliti i roditeljima koji su mi značajna potpora tijekom studija.

Luka Lindić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:  
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **LUKA LINDIĆ**

Mat. br.: 0035204025

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Bilateralna usporedba mjerenja tlaka u području od 0 do 600 bar**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Bilateral comparison of pressure measurements in the range from 0 to 600 bar**

Opis zadatka:

Međulaboratorijska usporedba podrazumijeva organizaciju, izvedbu i vrednovanje rezultata mjerenja istih ili sličnih mjerila u dva ili više laboratorija prema unaprijed određenim uvjetima. Svrha ovog rada je organizirati, provesti i analizirati međulaboratorijsku usporedbu umjernih laboratorija za tlak koji mogu umjeravati pretvornike na uljnim tlačnim vagama do 600 bar. U radu koristiti mjernu opremu Laboratorija za procesna mjerenja.

Potrebno je izraditi:

- Pregled metoda umjeravanja mjerila tlaka.
- Pregled normi i uputa za provedbu međulaboratorijskih usporedbi i obradu rezultata.
- Protokol usporedbe za tlak od 0 do 600 bar.
- Opis provedenih mjerenja u laboratorijima koji sudjeluju.
- Opis provedenih mjerenja u LPM-u i procjenu mjerne nesigurnosti.
- Analizu rezultata usporedbe određivanjem En vrijednosti.

U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

29. studenog 2018.

Rok predaje rada:

- 1. rok: 22. veljače 2019.
- 2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2019.
- 3. rok: 20. rujna 2019.

Predviđeni datumi obrane:

- 1. rok: 25.2. - 1.3. 2019.
- 2. rok (izvanredni): 2.7. 2019.
- 3. rok: 23.9. - 27.9. 2019.

Zadatak zadao:

Izv. prof. dr. sc. Lovorka Grgec Bermanec

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Igor Balen

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	III
POPIS TABLICA .....	IV
POPIS OZNAKA .....	V
SAŽETAK .....	VII
SUMMARY .....	VIII
1. UVOD .....	1
1.1. Povijest mjerenja .....	1
1.2. Standardne mjerne jedinice .....	2
1.3. Mjeriteljska infrastruktura .....	3
2. OPĆENITO O TLAKU I MJERNIM REZULTATIMA .....	6
2.1. Tlak .....	6
2.2. Umjeravanje mjerenja .....	7
2.3. Sljedivost mjerenja .....	7
2.4. Mjerna nesigurnost .....	8
2.4.1. Procjena mjerne nesigurnosti tipa A .....	9
2.4.2. Procjena mjerne nesigurnosti tipa B .....	10
3. MJERENJE TLAKA POMOĆU TLAČNE VAGE .....	11
3.1. Osnovni princip rada tlačne vage .....	12
4. METODE UMJERAVANJA MJERILA TLAKA .....	14
4.1. Osnovni uvjeti za umjeravanje .....	14
4.1.1. Prostorija u kojoj se vrši umjeravanje .....	14
4.1.2. Instalacija tlačne vage .....	14
4.1.3. Generiranje tlaka .....	15
4.1.4. Etalon tlaka .....	16
4.1.5. Pripremanje tlačne vage .....	16
4.2. Metode umjeravanja .....	18
4.2.1. Metoda A .....	19
4.2.2. Metoda B .....	23
4.2.3. Metoda C .....	24
5. NORME I UPUTE ZA PROVEDBU MEĐULABORATORIJSKIH USPOREDBI I OBRADU REZULTATA .....	25
5.1. Vrste međulaboratorijskih usporedbi .....	25
5.2. Pilot laboratorij .....	27
5.3. Hrvatska akreditacijska agencija (HAA) .....	27
5.4. Norme za akreditaciju laboratorija .....	28
5.4.1. HRN EN ISO/IEC 17011:2005, Ocjena sukladnosti – Opći zahtjevi za akreditacijska tijela koja akreditiraju tijela za ocjenu sukladnosti .....	28
5.4.2. HRN EN ISO/IEC 17020:2005, Opći zahtjevi za rad različitih vrsta tijela koja provode inspekciju .....	28

5.4.3. HRN EN ISO/IEC 17025:2007, Opći zahtjevi za osposobljenost ispitnih i umjernih laboratorija.....	28
5.4.4. HRN EN ISO/IEC 17043:2010, Ocjenjivanje sukladnosti – Opći zahtjevi za ispitivanje sposobnosti .....	28
6. PROTOKOL USPOREDBE ZA TLAK OD 0 DO 600 BAR-A.....	29
7. OPIS PROVEDENIH MJERENJA U UMJERAVANOM LABORATORIJU .....	30
7.1. Korišteni ispitivani pretvornik tlaka .....	30
7.2. Metoda umjeravanja.....	31
7.3. Podaci stanja okoliša.....	32
7.4. Etalonska oprema.....	32
7.5. Mjerni uvjeti .....	33
7.6. Mjerni rezultati BMB laboratorija .....	35
8. OPIS PROVEDENIH MJERENJA U LPM-FSB LABORATORIJU .....	38
8.1. Etalonska tlačna vaga.....	38
8.2. Uvjeti ispitivanja u LPM-FSB laboratoriju .....	39
8.3. Postupak određivanja efektivnog tlaka za etalonsku vagu TLVAG-08.....	40
8.3.1. Korekcije jednadžbe za izračun efektivnog tlaka .....	40
8.3.1.1. Korekcija ukupne sile .....	40
8.3.1.2. Korekcija efektivne površine .....	40
8.3.1.3. Korekcija zbog statičkog tlaka stupca fluida .....	40
8.3.1.4. Finalna formula za izračun efektivnog tlaka .....	41
8.3.1.5. Konstante za izračun efektivnog tlaka etalonske vage TLVAG-08 .....	41
8.4. Određivanje mjerne nesigurnosti.....	42
8.4.1. Izvori mjerne nesigurnosti .....	42
8.4.1.1. Nesigurnost rezolucije ispitivanog pretvornika, $u_r$ .....	42
8.4.1.2. Nesigurnost radnog etalona, $u_{standard}$ .....	42
8.4.1.3. Nesigurnost uslijed histereze, $u_h$ .....	42
8.4.1.4. Nesigurnost uslijed ponovljivosti, $u_{b'}$ .....	43
8.4.1.5. Nesigurnost pri odstupanju od nultočke, $u_{f0}$ .....	43
8.4.2. Ukupna kombinirana standardna nesigurnost .....	43
8.4.3. Proširena mjerna nesigurnost .....	43
8.5. Mjerni rezultati LPM-FSB laboratorija .....	44
9. ANALIZA REZULTATA USPOREDBE I ODREĐIVANJE $E_n$ VRIJEDNOSTI .....	47
9.1. $E_n$ vrijednost.....	47
10. ZAKLJUČAK.....	50
LITERATURA.....	51
PRILOZI .....	52

**POPIS SLIKA**

Slika 1.	Stup viteza Orlanda [16].....	2
Slika 2.	Kategorizacija mjeriteljstva .....	3
Slika 3.	Lanac sljedivosti.....	8
Slika 4.	Tlačna vaga [17].....	11
Slika 5.	Sklop klip-cilindar [8] .....	13
Slika 6.	Vizualni prikaz Metode A [10].....	21
Slika 7.	Detalj Z iz vizualnog prikaza metode A [10] .....	21
Slika 8.	Metoda A-prikaz dodatne dvije mjerne serije [10] .....	22
Slika 9.	Vizulni prikaz metode B [10] .....	23
Slika 10.	Vizualni prikaz metode C [10].....	24
Slika 11.	WIK A P-30 električni pretvornik.....	31
Slika 12.	Mjerenje temperature sklopa klip-cilindar.....	33
Slika 13.	Prikaz mjernog sustava BMB laboratorija.....	34
Slika 14.	Zapisivanje mjernih rezultata.....	35
Slika 15.	Grafički prikaz mjernih rezultata u BMB laboratoriju .....	37
Slika 16.	TLVAG-08 s utezima .....	39
Slika 17.	Proces mjerenja u LPM-FSB laboratoriju .....	44
Slika 18.	Grafički prikaz mjerenja u LPM-FSB laboratoriju .....	46
Slika 19.	Grafički prikaz mjernih rezultata oba laboratorija .....	48

---

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Osnovne jedinice Međunarodnog sustava (SI) .....	3
Tablica 2. Jedinice za mjerenje tlaka .....	6
Tablica 3. Usporedba metoda umjeravanja A, B i C [10] .....	19
Tablica 4. Usporedba vrsta međunarodnih usporedbi [11] .....	26
Tablica 5. Karakteristike umjeravanog pretvornika tlaka .....	30
Tablica 6. Podaci stanja okoliša BMB laboratorija .....	32
Tablica 7. Podaci o tlačnoj vagi BMB laboratorija .....	32
Tablica 8. Izmjerene vrijednosti tlakova u BMB laboratoriju .....	36
Tablica 9. Izračunate vrijednosti BMB laboratorija .....	36
Tablica 10. Karakteristike tlačne vage TLVAG-08 .....	38
Tablica 11. Prikaz stanja okoliša LPM-FSB laboratorija .....	39
Tablica 12. Konstante etalonske vage .....	41
Tablica 13. Ostale konstante .....	41
Tablica 14. Izmjerene mjerne vrijednosti LPM-FSB laboratorija .....	45
Tablica 15. Izračunate vrijednosti LPM-FSB laboratorija .....	45
Tablica 16. Izračunate $E_n$ vrijednosti .....	49



---

**POPIS OZNAKA**

Oznaka	Jedinica	Opis
$L$	m	Duljina
$m$	kg	Masa
$t$	s	Vrijeme
$I$	A	Električna struja
$T$	K	Termodinamička temperatura
$t$	°C	Temperatura u Celzijevim stupnjevima
$n$	mol	Količina tvari
$I_v$	cd	Svjetlosna jakost
$p$	Pa	Opći tlak
$A$	m <sup>2</sup>	Površina
$F$	N	Sila
$w$	kg	Specifična težina
$h$	m	Visina
$u$	bar	Standardna mjerna nesigurnost
$s$	bar	Standardno odstupanje
$\bar{x}_i$	bar	Srednja vrijednosti veličine
$n$	-	Broj ponovljenih mjerenja
$a$	bar	Polu-interval mjerne nesigurnosti
$U$	bar	Proširena mjerna nesigurnost
$p_e$	bar	Efektivni tlak
$A_e$	m <sup>2</sup>	Efektivna površina pri atmosferskom tlaku
$A_0$	m <sup>2</sup>	Efektivna površina pri efektivnom tlaku
$\rho_a$	kg/m <sup>3</sup>	Gustoća okolišnog zraka
$\rho_f$	kg/m <sup>3</sup>	Gustoća radnog fluida
$\rho_{mi}$	kg/m <sup>3</sup>	Gustoća utega
$g$	m/s <sup>2</sup>	Gravitacijsko ubrzanje

$\Gamma$	mN/m	Površinska napetost
$c$	m	Opseg klipa
$\lambda$	MPa <sup>-1</sup>	Koeficijent distorzije
$\alpha_c$	°C <sup>-1</sup>	Koeficijent temperaturne ekspanzije cilindra
$\alpha_k$	°C <sup>-1</sup>	Koeficijent temperaturne ekspanzije klipa
$t_{ok}$	°C	Temperatura okoliša
$h$	mm	Razlika u visini u odnosu na referentni položaj
$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	Naprezanje
$u_r$	bar	Nesigurnost rezolucije ispitivanog pretvornika
$u_{standard}$	bar	Nesigurnost radnog etalona
$u_h$	bar	Nesigurnost uslijed histereze
$u_{b'}$	bar	Nesigurnost uslijed ponovljivosti
$u_{fo}$	bar	Nesigurnost pri odstupanju od nultočke0
$u_{uzlazni/silazno}$	bar	Ukupna kombinirana mjerna nesigurnost
$U_{uzlazno/silazno}$	bar	Ukupna kombinirana proširena mjerna nesigurnost
$k$	-	Faktor pokrivanja
$r$	bar	Rezolucija
$f_o$	bar	Nulto odstupanje
$b'$	bar	Ponovljivost
$h$	bar	Histereza
$j$	-	Broj mjerne točke

---

**SAŽETAK**

Za kvalitetnu provedbu bilateralne usporedbe mjerenja tlaka u području od 0 do 600 bar potrebno je dobro poznavati sve pojmove koji se vežu uz termin mjeriteljstva. Tako je u uvodu ovog rada uz kratku povijest mjerenja objašnjeno značenje Standardnih mjernih jedinica te funkcioniranje mjeriteljske infrastrukture.

Nakon općenitog uvoda o mjeriteljstvu dano je detaljno objašnjenje pojma tlaka te bitnih pojmova za međulaboratorijsku usporedbu kao što su umjeravanje, sljedivost i mjerna nesigurnost.

Mjerenje tlaka se provodi pomoću uređaja koji se naziva tlačna vaga po točno određenim i propisanim pravilima. Propisani su i osnovni uvjeti za umjeravanje i metode umjeravanja od strane EUROMET-a kojih se potrebno pridržavati kako bi rezultati mjerenja bili međunarodno priznati.

Nadalje, navedene su norme i upute koje su potrebne za provedbu međulaboratorijskih usporedbi i obradu rezultata te sami protokol usporedbe za tlak od 0 do 600 bar-a. Zasebno je opisano provedeno mjerenje u umjeravanom BMB Brcković laboratoriju i LPM-FSB laboratoriju. Za umjeravanje se koristio električni pretvornik tlaka P-30, WIKA. Nakon provedenog mjerenja provedena je analiza rezultata usporedbe te određena  $E_n$  vrijednost što je bio i cilj ovog rada.

Ključne riječi: mjeriteljstvo, tlak, umjeravanje, sljedivost, mjerna nesigurnost, tlačna vaga, pretvornik tlaka,  $E_n$  vrijednost

---

**SUMMARY**

For the quality implementation of bilateral comparison of pressure measurements in the range from 0 to 600 bar it is necessary to know all the concepts that connect with the term metrology. In the introduction part of this paper, with a brief history of measurement, the meaning of International System of Units and the Functioning of Metrology Infrastructure are explained.

After the general introduction to metrology, a detailed explanation of the concept of pressure and of the essential concepts for inter-laboratory comparisons are given, such as calibration, traceability and metric uncertainty.

The pressure measurement is carried out by a device called the pressure balance according to precisely defined and prescribed rules. The basic conditions for calibration and calibration methods by EUROMET are also mandatory, so that the measurement results are internationally recognized.

Furthermore, the standards and instructions required for inter-laboratory comparisons and result processing are listed and the comparison protocol itself for a pressure of 0 to 600 bar. The measurement was performed in the calibrated BMB Brcković laboratory and the LPM-FSB laboratory. The electric pressure transmitter P-30, WIKA was used for calibration. After the measurement was carried out, the analysis of the comparison results was carried out, the  $E_n$  value was specified, which was also the aim of this paper.

Key words: metrology, pressure, calibration, measurement traceability, measurement uncertainty, pressure balance, pressure transmitter,  $E_n$  value

## 1. UVOD

Tema ovog rada bazirana je na mjerenju pa je bitno znati što je mjerenje zapravo. Mjerenje je proces dobivanja brojčanog podatka u odnosu na jedinicu mjere. Opseg i primjena mjerenja ovise o kontekstu i disciplini. Mjerenje je osnova trgovine, znanosti, tehnologije i kvantitativnog istraživanja u mnogim disciplinama. Povijesno gledano, postojali su mnogi mjerni sustavi za različita područja ljudskog postojanja kako bi se olakšala usporedba u tim područjima. Često su postignuti lokalnim sporazumima između trgovačkih partnera ili suradnika. Od 18. stoljeća, kretanja su napredovala prema ujedinjujućom i široko prihvaćenom standardu koji je rezultirao modernim međunarodnim sustavom jedinica (SI). SI sustav smanjuje sva fizička mjerenja na matematičku kombinaciju sedam osnovnih jedinica.

### 1.1. Povijest mjerenja

Najraniji zabilježeni sustavi utega i mjera potječu iz 3. ili 4. tisućljeća prije Krista. Čak i najranije civilizacije trebale su mjerenje u svrhu poljoprivrede, gradnje i trgovine. Rane standardne jedinice mogu se primijeniti samo na jednu zajednicu ili malu regiju, pri čemu svako područje razvija svoje standarde za duljinu, površinu, volumen i masu. Često su takvi sustavi bili blisko povezani s jednim područjem korištenja. Primjerice, u 14. stoljeću Dubrovačka republika je imala normiranu mjeru dužine određenu duljinom lakta (51 cm) na Stupu viteza Orlanda [Slika 1]. Etalon (metalni štap) čuvao se u palači Sponza, a ista duljina lakta urezana je i u kamenom postamentu Orlandoва spomenika. Razvojem proizvodnih tehnologija i rastućom važnošću trgovine između zajednica i konačno diljem Zemlje, standardizirani utezi i mjere postali su prijeko potrebni. Otkrivanje i primjena električne energije jedan je od čimbenika koji motivira razvoj standardiziranih međunarodno primjenjivih jedinica. [1]



Slika 1. Stup viteza Orlanda [16]

## 1.2. Standardne mjerne jedinice

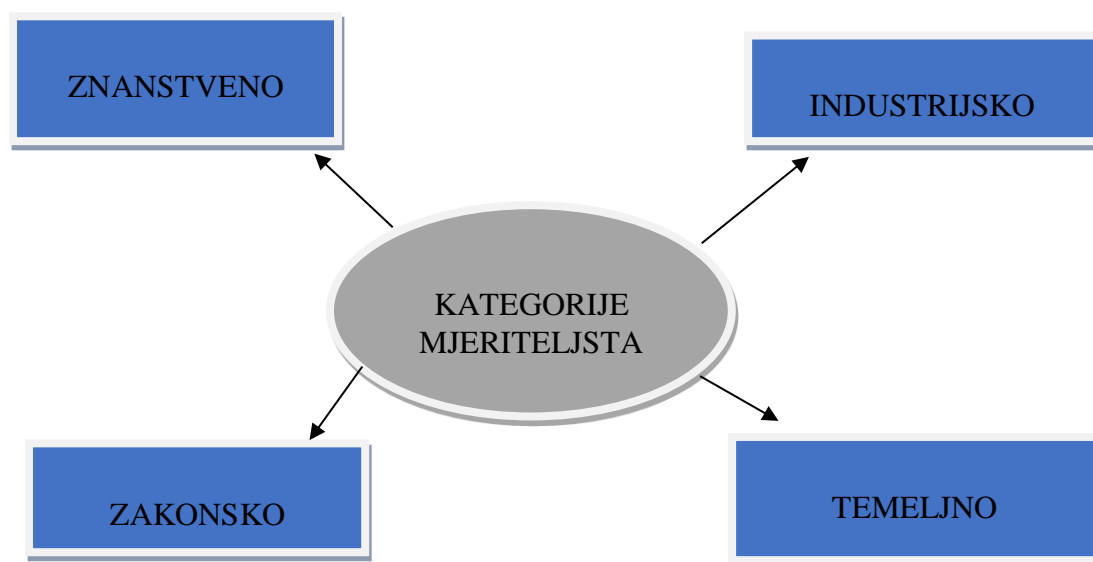
Kod mjerenja za usporedbe najčešće se koristi Međunarodni sustav jedinica (SI). SI sustav je definiran sa sedam temeljnih jedinica: kilogram, metar, kandela, sekunda, amper, kelvin i mol [Tablica 1]. Do ove godine se šest od tih jedinica definiralo bez upućivanja na određeni fizički objekt koji služi kao standard, dok se kilogram čuvao u posebno čuvanom prostoru koji se nalazi u sjedištu Međunarodnog ureda za utege i mjere u Sèvresu kod Pariza. U studenom 2018. znanstvenici iz više od 50 zemalja su na konferenciji u Versaillesu, nedaleko od Pariza, jednoglasno usvojili novu definiciju kilograma. Ta se definicija temelji na fiksnoj numeričkoj vrijednosti određene konstante. Tako se jedinica za mjerenje može promijeniti samo kroz povećanu točnost u određivanju vrijednosti konstante kojoj je vezana. [2]

Naziv	Znak	Veličina
Metar	M	Duljina
Kilogram	Kg	Masa
Sekunda	S	Vrijeme
Amper	A	Električna struja
Kelvin	K	Termodinamička temperatura
Mol	Mol	Množina tvari
Kandela	Cd	Svjetlosna jakost

Tablica 1. Osnovne jedinice Međunarodnog sustava (SI)

### 1.3. Mjeriteljska infrastruktura

Mjeriteljstvo se kategorizira na 4 grane kako je prikazano na Slici 2.



Slika 2. Kategorizacija mjeriteljstva

**Zakonsko mjeriteljstvo** spada u dio mjeriteljstva koji je uređen zakonom i svim popratnim propisima kako bi se postiglo povjerenje u mjerne rezultate. Ono uključuje djelatnosti koje rade po propisima, a uključuju mjerenja, mjerne jedinice, mjerila i mjerne metode koje provode djelatnosti koje se bave mjerenjem. U budućnosti će sve veću ulogu poprimiti međunarodna suradnja te usklađivanje mjera i postupaka mjeriteljskih zakona.

Mjeriteljskom zakonu je temeljni cilj zaštititi građane od mogućih posljedica od pogrešnih mjerenja:

- u radnom okolišu, zaštiti na radu i sigurnost
- u službenim i trgovačkim poslovima.

Mjerila trebaju osigurati ispravne mjerne rezultate:

- u cjelokupnom razdoblju uporabe
- u granicama danih dopuštenih postupaka
- u radnim uvjetima.

**Znanstveno mjeriteljstvo** se bavi dijelovima koje su zajedničke svim mjeriteljima bez obzira koju mjernu veličinu mjerili. Obuhvaća praktičke i opće teoretske probleme mjernih jedinica. U to ulaze prenošenja znanstvenih metoda, problemi mjeriteljskih svojstava mjerila, mjernih nesigurnosti itd. BIMP ih je podijelio u 9 tehničkih područja: masa, elektricitet, duljina, vrijeme i frekvencija, termometrija, ionizacijsko zračenje i radioaktivnost, fotometrija i radiometrija, protok, akustika i količina tvari. [3]

**Industrijsko mjeriteljstvo** se odnosi na pravilno funkcioniranje mjerila koja se koriste u procesima proizvodnje i industriji.

**Temeljno mjeriteljstvo** označuje najvišu razinu točnosti u traženom području. Prema tome temeljno mjeriteljstvo se može nazvati kao najviša stepenica znanstvenog mjeriteljstva. [3]

**Međunarodni odbor za utege i mjere (CIPM)** predstavlja 18 osoba iz 18 različitih država. Svaka od država članica Konvencije o metru imenuje osobe za Generalnu konferenciju o težinama i mjerama (CGPM) čiji je glavni zadatak promicati ujednačenost svjetskih mjernih jedinica izravnim djelovanjem ili podnošenjem prijedloga CGPM-u. [4]



CIPM se sastaje svake godine (od 2011. godine na dvije sjednice godišnje) u Međunarodnom uredu za utege i mjere (BIPM) gdje raspravljaju o izvješćima koja dođu od savjetodavnog odbora. Izvješća o sastancima CGPM-a, CIPM-a i svih savjetodavnih odbora objavljuje BIPM.

**Međunarodni ured za utege i mjere (BIPM)** je međuvladina organizacija koja je osnovana od strane Konvencije o metru. U njoj države članice odgovaraju zajedno na pitanja vezana uz mjeriteljsku znanost i standarde mjerenja. Sjedište mu je u Sèvresu u Francuskoj.

BIPM ima obavezu pružiti osnovu za jedinstvenim, koherentnim sustavom mjerenja širom svijeta koji se može razumjeti zbog korištenja Međunarodnog sustava jedinica (SI). Ta obaveza sadrži mnogo oblika. Primarno od izravnog širenja jedinica (kao u slučaju vremena) do koordinacije kroz međunarodne usporedbe nacionalnih mjernih standarda (kao što je to slučaj s električnom energijom i ionizirajućim zračenjem).

Na svakom sastanku Opće konferencije nakon konzultacija predstavlja se nacrt verzije BIPM programa rada koji se razmatra uz BIPM donaciju. Konačni program rada određuje CIPM u skladu s pogodbama koje su dogovorene u CGPM-u.

Glavni posao BIPM-a trenutno uključuje [5]:

- znanstvene i tehničke djelatnosti u četiri odjela: kemija, ionizirajuće zračenje, fizikalna mjeriteljstva i vrijeme
- pružanje institucionalne veze s drugim tijelima koja pružaju potporu međunarodnoj infrastrukturi kvalitete i drugim međunarodnim tijelima
- izgradnju kapaciteta i programa prijenosa znanja koji imaju za cilj povećati učinkovitost unutar svjetske mjeriteljske zajednice
- centar resursa koji pruža bazu podataka i publikaciju za međunarodno mjeriteljstvo.

## 2. OPĆENITO O TLAKU I MJERNIM REZULTATIMA

### 2.1. Tlak

Tlak je sila koja se primjenjuje okomito na površinu objekta po jedinici površine na kojoj se ta sila raspoređuje. Uređaj koji mjeri tlak u odnosu na tlak okoline naziva se manometar. Tlak se izražava pomoću različitih jedinica. SI jedinica za tlak je paskal (Pa) koji proizlazi iz formule (1).

$$p = \frac{dF}{dA} \quad (1)$$

Međutim, u SAD-u je tradicionalna jedinica za tlak psi. Tlak se također može izraziti u smislu standardnog atmosferskog tlaka. U tom slučaju jedna atmosfera (atm) označava tlak od 101325 Pa. U povijesti se za normalan tlak zraka uzimala vrijednost od 760 mmHg. To je bila razlika visina žive u stupcu.

U mehanici fluida se još upotrebljava tlak u obliku specifične težine ( $w$ ), prema visini ( $h$ ). [6]

$$dp = -w \cdot dh \quad (2)$$

Na formulama (1) i (2) se temelje sva osnovna mjerenja.

Naziv	Znak	[Pa]
Milibar	Mbar	100
Hektopaskal	hPa	100
inč stupca vode	inH <sub>2</sub> O	248,6 – 249,1
inč stupca žive	inHg	3386,39
funta sile po kvadratnom palcu	Psi	6894,76

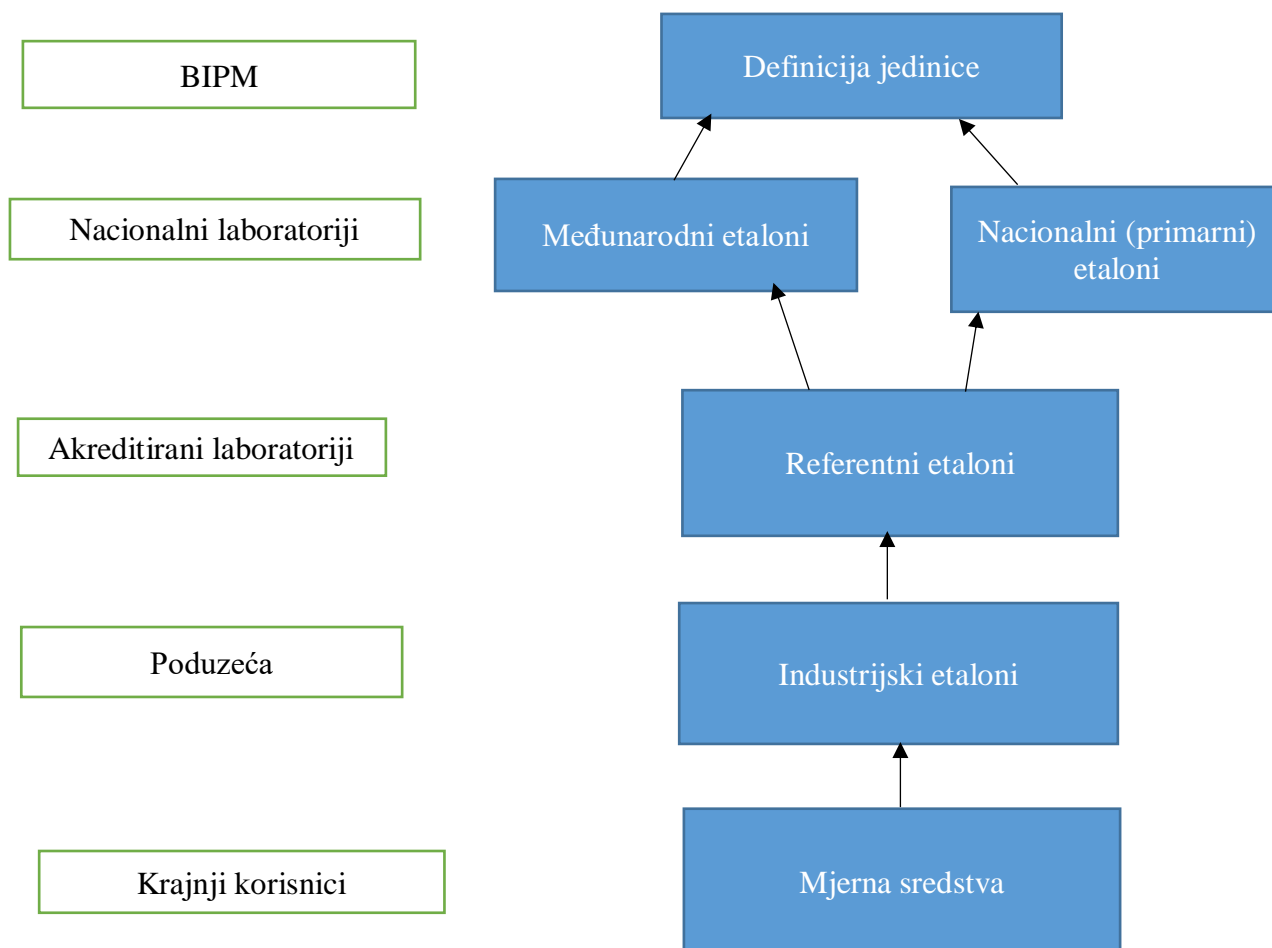
Tablica 2. Jedinice za mjerenje tlaka

## 2.2. Umjeravanje mjerenja

Formalna definicija umjeravanja od strane Međunarodnog ureda za utege i mjere (BIPM) je sljedeća: "Radnja koja u određenim uvjetima u prvom koraku uspostavlja odnos između količinske vrijednosti i mjerne nesigurnosti koje se daju standardima mjerenja i odgovarajućim indikacijama s pripadajućim mjernim nesigurnostima (kalibriranog instrumenta ili sekundarnog standarda) te u drugom koraku koriste ove podatke kako bi uspostavili odnos za dobivanje rezultata mjerenja iz indikacije. " [7] Ova definicija navodi da je proces umjeravanja čisto usporedba, ali uvodi koncept mjerne nesigurnosti u odnosu na točnost ispitivanog uređaja i standarda.

## 2.3. Sljedivost mjerenja

Sljedivost je svojstvo mjernog rezultata ili vrijednosti nekog etalona po kojemu se on može dovesti u vezu s navedenim referencijskim etalonima (obično državnim ili međunarodnim) neprekinutim lancem sljedivosti s utvrđenim mjerne nesigurnosti. Navedeni lanac sljedivosti nalazi se na Slici 3.



Slika 3. Lanac sljedivosti

## 2.4. Mjerna nesigurnost

„Mjerna nesigurnost je parametar pridružen mjernom rezultatu, koji označuje rasipanje vrijednosti, što se smije razborito pripisati mjernoj veličini“. [6] Ona nam govori ponešto o kvaliteti mjerenja te unosi sumnju u rezultate bilo kojeg mjerenja.

Da bi se mjerna nesigurnost kvantificirala potrebna je:

- širina intervala nesigurnosti ili samo interval
- nivo pouzdanosti, koji ukazuje koliko smo sigurni da je „stvarna vrijednost“ u intervalu nesigurnosti.

Pogreške i nesigurnosti prouzrokuju:

- mjerni instrumenti – trošenje, slaba rezolucija, šum, itd.
- objekt mjerenja – slaba rezolucija, nestabilnost, slaba ponovljivost i histereza
- mjerna metoda – poteškoće u mjerenju, gradijenti, nestalnosti
- „uvezene“ nesigurnosti – nesigurnost umjerenih instrumenata ugrađuje se u nesigurnost mjerenja koje se na njima provodi
- vještina mjeritelja – bolji vid za fina očitavanja
- uzorkovanje – mjerenja koja se provode trebaju dobro reprezentirati proces koji se ispituje
- parametri okoline – temperatura, vlažnost.

Postoje dva načina za procjenu mjerne nesigurnosti:

- metoda procjene **tipa A** su procjene koje koriste statistiku
- metoda procjene **tipa B** su procjene bazirane na drugim informacijama. (prethodno iskustvo, iz proračuna, iz različitih izvora, prethodno iskustvo...).

#### **2.4.1. Procjena mjerne nesigurnosti tipa A**

Potrebno je sve podatke svesti na standardnu nesigurnost (u) kako bi se izbjegla konfuzija. Standardna nesigurnost se računa iz standardne devijacije (s) za sve dobivene rezultate mjerenjem. Koristi se Gaussova razdioba gdje su podaci grupirani oko srednje vrijednosti.

Srednja vrijednosti :

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_{i,k} \quad (3)$$

Eksperimentalno standardno odstupanje:

$$s(\bar{x}_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2} \quad (4)$$

Eksperimentalno standardno odstupanje srednje vrijednosti:

$$s(\bar{x}_i) = \frac{s(x_i)}{\sqrt{n}} \quad u_A = s(\bar{x}_i) \quad (5)$$

$$u = \frac{s}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (6)$$

#### **2.4.2. Procjena mjerne nesigurnosti tipa B**

Pri računanju mjerne nesigurnosti metodom B poznat nam je samo interval nesigurnosti u kojem će vjerovatno biti prava vrijednost. Takva razdioba se naziva pravokutna, a računa se iz:

$$u = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (7)$$

### 3. MJERENJE TLAKA POMOĆU TLAČNE VAGE

Tlačne vage [Slika 4] su najprecizniji instrumenti za umjeravanje elektronskog ili mehaničkog tlaka mjernog instrumenta. Tlak se mjeri izravno prema njegovoj definiciji kao razlomak sile i površine te korištenjem visokokvalitetnih materijala rezultiraju malim mjernim nesigurnostima i omogućuju izvrsnu dugoročnu stabilnost od minimalno 5 godina. Iz tih se razloga tlačne vage već dugi niz godina koriste u umjeravanim laboratorijima industrije, nacionalnim institutima i istraživačkim laboratorijima. Zbog integriranog upravljanja tlakom i čisto mehanički princip mjerenja tlaka, tlačna vaga je idealna za upotrebu na licu mjesta, kao i servis i održavanje.



Slika 4. Tlačna vaga [17]

### 3.1. Osnovni princip rada tlačne vage

Tlak je definiran kao razlomak sile i površine. Prema tome, jezgra ravnoteže tlaka je klip-cilindarski sklop koji je najčešće napravljen od volfram karbida. Osim visoko kvalitetnog materijala koji se prvenstveno izdvaja po malom koeficijentu toplinskog rastezanja, od presudne su važnosti tolerancije sklopa klip-cilindar. Vrlo visoka razina obrade materijala osigurava visoku kvalitetu i ravnu površinu s malim tolerancijama od samo nekoliko mikrometara. Bitno je da je međuprostor između klipa i cilindra konstantan te da ne dolazi do trenja između njih.

Površina koju određuju klip i cilindar naziva se „efektivna površina“. Na vrh klipa postavljaju se mase poznatih težina, dok se na donji kraj klipa dovodi najčešće ulje pod određenim tlakom pri kojem se razvije dovoljna sila da podigne cijeli klip s utezima. Fluid se mora kontinuirano dodavati u sistem zbog njegovog istjecanja kako bi se održavao stalni tlak u sustavu. Nadalje. Klip se zarotira da se eliminira utjecaj trenja.

Najčešće konfiguracije tlačnih vaga su :

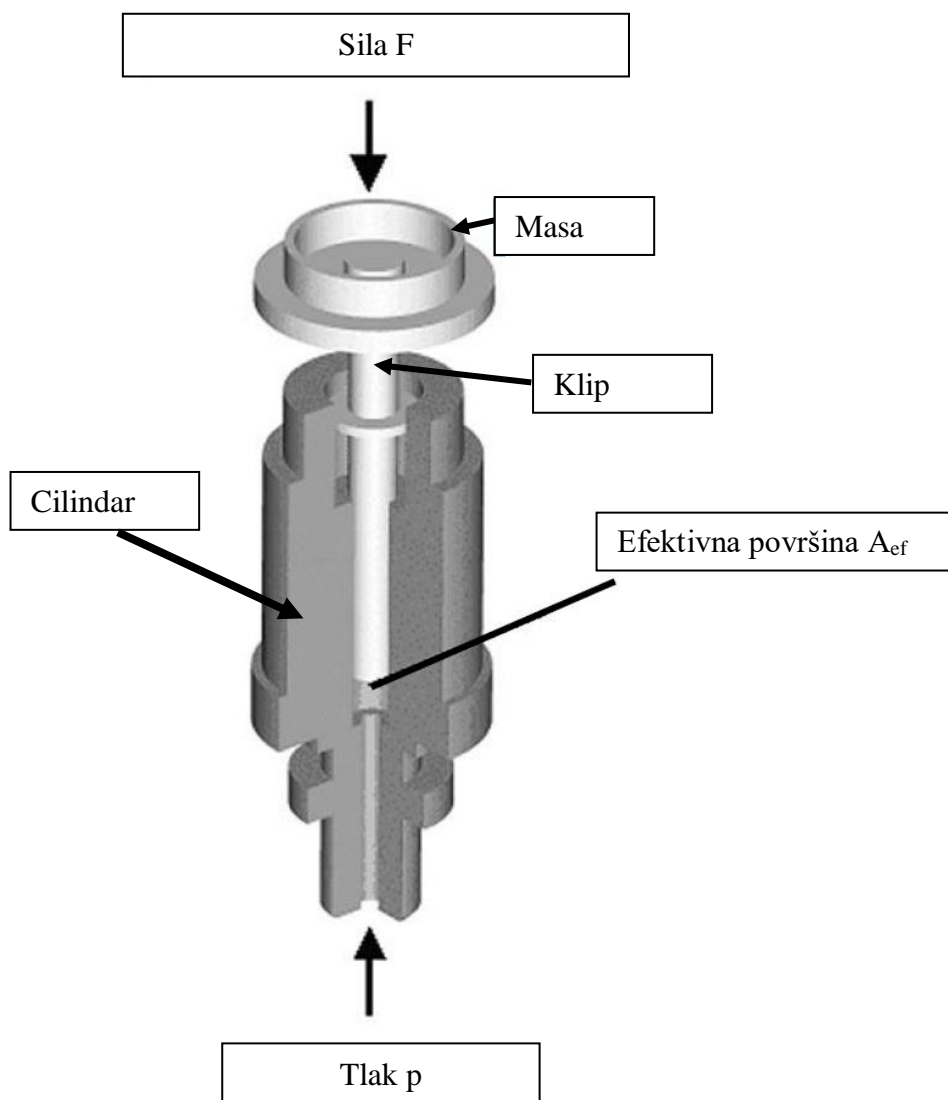
- uvučena konfiguracija,  $p_j = p$
- jednostavna konfiguracija,  $p_j = 0$
- tlakom kontrolirana zračnost,  $p_j \neq p$ .

Kod uvučene konfiguracije tlak djeluje na bazu klipa i na oplošje cilindra što omogućuje veće distorzije između klipa i cilindra.

Jednostavna konfiguracija je najrasprostranjenija i najviše se koristi. Mjerni tlak djeluje samo na bazu klipa.

Tlačne vage s tlakom kontroliranom zračnosti imaju promjenjiv tlak  $p_j$  te se on posebno mjeri i kontrolira. Zbog toga se može jednostavnije odrediti efektivna površina. [6]





Slika 5. Sklop klip-cilindar [8]

## **4. METODE UMJERAVANJA MJERILA TLAKA**

### **4.1. Osnovni uvjeti za umjeravanje**

Kako bi umjeravanje bilo provedeno po propisanoj proceduri od strane EUROMET-a treba se zadovoljiti svaki od sljedećih uvjeta. [9]

Osnovni uvjeti za provođenje umjeravanja od strane EUROMET-a odnose se na:

- prostoriju u kojoj se vrši umjeravanje
- instalacija tlačne vage
- generiranje tlaka
- etalon tlaka
- pripremanje tlačne vage.

#### ***4.1.1. Prostorija u kojoj se vrši umjeravanje***

Temperatura okoline unutar sobe mora biti između 15 °C i 25 °C u granicama od  $\pm 2$  °C. Za manje mjerne nesigurnosti (tipično 0,01%) treba se izmjeriti temperatura sklopa klip-cilindar. Otvaranje vrata i kretanje operatera treba biti kontrolirano kako bi se održala stabilnost atmosfere i kontrola.

#### ***4.1.2. Instalacija tlačne vage***

Kod instalacije tlačne vage treba se pridržavati sljedećih uvjeta:

- instalirani uređaji trebaju biti dovoljno daleko od GViK uređaja kao što su ventilacijski i klima uređaji
- tlačna vaga treba biti na stabilnom stolu koji podnosi punu opterećenost dodanih masa na tlačnu vagu te stol treba biti u potpunosti horizontalno ravan
- visinsku razliku između referentnih razina dvaju instrumenata za uspoređivanje treba minimalizirati
- vertikalnost klipa koristiti prema preporuci proizvođača
- koristiti kratke cijevi sa širokim provrtom kako bi se smanjio utjecaj velikih tlačnih naprezanja na cijevi

- osigurati čiste i nepropusne cijevi
- postaviti odgovarajući sustav odvodnje kako biste kontrolirali prirodu fluida u sustavu cijevi
- pričvrstiti odgovarajući sustav za mjerenje temperature na sklop klip-cilindar.

#### **4.1.3. Generiranje tlaka**

Za plinske tlačne uređaje:

- koristiti čisti i suhi plin (npr. dušik) na temperaturi blizu okoliša
- podesiti ulaz tlaka na raspon međusobno povezanih instrumenata
- očistiti cijev od fluida (za tlačnu vagu koja koristi ulje).

Za uređaje koji koristi isključivo plin:

- koristiti čistu pumpu i pri korištenju mehaničke rotacijske pumpe koristiti odgovarajući filter
- koristiti prikladnu vakuumsku pumpu kako bi se osiguralo da preostali tlak iznad sklopa klip-cilindar bude manji od 10 Pa ili  $10^{-5}$  od mjerenog tlaka i odabrati veći tlak osim ako proizvođač ne propiše drugačije
- izmjeriti preostali tlak umjeravanjem i spojenim vakuumskim mjeračem izravno u sustav.

Za tekuće tlačne vage:

- koristiti tekućinu koju preporučuje proizvođač
- ako tekućina koja se koristi kod umjeravanja nije ista kao i tekućina u standardnom sustavu upotrijebiti odgovarajuće separatore kako bi se izbjeglo bilo kakva mogućnost mješanja dvije različite tekućine
- očistiti cijev od bilo koje druge tekućine
- očistiti fluid u cijevi od bilo kojeg mogućeg unutarnjeg plina.

#### **4.1.4. Etalon tlaka**

Za raspone niže od 300 kPa standardni uređaj može biti i običan manometar. Ostali se uređaji mogu koristiti kao alternativa za određene slučajeve.

Umjeravanje apsolutnog tlaka može se provesti u mjernom režimu s dodanom mjernom nesigurnost  $A_0$ . Međutim, rad umjerene tlačne vage za apsolutni način treba biti testiran.

Umjeravanje tlačne vage namijenjene mjerenju negativnih mjerača tlakova mogu biti izvedeni u načinu pozitivnog mjernog tlaka uz dodatnu nesigurnost  $A_0$ . Međutim, rad umjerene tlačne vage u negativnom mjerачu tlaka treba ispitati.

U svim slučajevima etalonski instrument koji se koristi za umjeravanje mora zadovoljavati sljedeće uvjete:

- mora se pridržavati nacionalne norme s priznatim certifikatom o umjeravanju
- mjerna nesigurnost mora biti bolja od pretpostavljene neizvjesnosti ravnoteže umjeravanjem
- proračun mjerne nesigurnosti na referentnoj standardnoj tlačnoj vagi mora biti dovršen kako bi bio potvrđen taj uvjet.

#### **4.1.5. Pripremanje tlačne vage**

Tlačna vaga koja se umjerava mora biti stavljena u laboratorij najmanje 12 sati prije početka umjeravanja kako bi se uravnotežila te treba zadovoljiti sljedeće:

- provjeriti je li ulje čisto (ne sadrži nečistoće) te ako nije, isprazniti sve cijevi i zamijeniti ulje u spremniku
- kada je tlači krug zatvoren i kada su utezi postavljeni na klip, klip se pomiče gore-dolje pomoću pumpe vretena
- ako je potrebno pomoću tehničkog priručnika ukloniti sklop klip-cilindar i očistiti površine dvaju dijelova prikladnim otapalom ili čistim sapunom s mekom i suhom krpom prema preporukama proizvođača

- pregledati sklop klip-cilindar ima li kakvih vidljivih površinskih ogrebotina i korozije te podmazati klip s čistim uljem
- ispitati slobodno rotacijsko vrijeme (samo za ručnu tlačnu vagu). Na klip postaviti utege koji odgovaraju 2/10 maksimalnog tlaka. Početni stupanj rotacije trebao bi biti približno 30 okr/min. Izmjeriti proteklo vrijeme sve dok klip ne stane te obratiti pozornost na to da to vrijeme traje najmanje 3 minute
- ispitati brzinu spuštanja klipa. Brzina odmaka klipa se promatra na maksimalnom tlaku pri okretanju klipa. Izmjeriti vremenski interval u kojem klip pada s vrha prema dnu koji treba bit najmanje 3 minute
- spojiti tlačnu vagu s ispitivanim uređajem
- odrediti etalonsku razinu za oba tlaka. Etalonska razina je ona koju proizvođač obično definira na dnu površine klipa kada je ona u radnom položaju. U nedostatku informacija o etalonskoj razini i kada donja površina klipa nije dostupna, etalonska se razina općenito definira na razini priključka izlazne cijevi. Razlika u visini između etalonske razine standarda i etalonske razini ravnoteže umjeravanja se minimalizira što je više moguće i mjeri se. U svakom slučaju razlika u visini između etalonskih razina standarda i ravnoteža ispod umjeravanja mora se izmjeriti kako bi se primijenila odgovarajuća korekcija
- za apsolutni tlak pumpa mora raditi 30 min na početku umjeravanja da bi eliminirali vodenu paru u sustavu. Koristiti suhi dušik kao radni plin
- zakrenuti klip ili cilindar držeći se preporuka od proizvođača.

## 4.2. Metode umjeravanja

Svim metodama umjeravanja je zajedničko to da se sastoje od uspoređivanja umjeravanog i standardnog uređaja koji su podvrgnuti istim tlakom u istim uvjetima okoline. Vrijeme potrebno da se dostigne najveći tlak i vrijeme između dva predopterećenja treba biti najmanje 30 sekundi. Nakon očitanih rezultata i nakon postizanja stabilnih uvjeta oznaka umjeravanja se postavlja na nulto mjesto. Nulto očitavanje se provodi odmah nakon. Vrijeme između dva uzastopna promjena opterećenja treba uvijek biti isto, ne kraće od 30 sekundi, a očitavanja treba izvršiti 30 sekundi nakon promjene tlaka. Pri korištenju Bourdonove cijevi tlakomjeri moraju biti lagano pritisnuti kako bi se smanjila mogućnost trenja kod pokazivača tlakomjera. Izmjerena vrijednost se treba očitati za gornju granicu raspona umjeravanja prije i poslije vremena čekanja. Nulta očitavanja na kraju serije mjerenja provode se najranije 30 sekundi nakon potpunog ponovnog postavljanja.

Zbog različitih zahtjeva kupaca i ovisno o pretpostavljenoj točnosti uređaja za umjeravanje postoje tri različite metode umjeravanja[9]:

- Metoda A
- Metoda B
- Metoda C

Glavne razlike među njima su u broju ponavljanja uzlaznih i silaznih mjerenja tlaka te u broju mjernih točaka [Tablica 3]. Metoda A je najduža i sastoji se od najviše izmjerenih točaka. Time je najpouzdanija, ali traje najveći vremenski period. Najkraća je metoda C, no njeni rezultati su najmanje pouzdani. Metoda B je negdje između te dvije metode po vremenskom trajanju i pouzdanosti rezultata.

Metoda	Klasa točnosti	Minimalni broj mjernih točaka s nulom uzlaz/silaz	Broj pred-opterećenja	Promjena opterećenja +stacionarno vrijeme (s)	Vrijeme zastoja u konačnoj vrijednosti mjernog područja (min)	Broj mjernih serija	
						Uzlazno	Silazno
A	<0,1	9	3	>30	2	2	2
B	0,1...0,6	9	2	>30	2	2	1
C	>0,6	5	1	>30	2	1	1

Tablica 3. Usporedba metoda umjeravanja A, B i C [10]

#### 4.2.1. Metoda A

Metoda A je korištena za umjeravanje u ovom završnom radu te je ona detaljno opisana.

Zadatak ove metode je odrediti sistemsku grešku i ponovljivost umjeravane tlačne vage. To se postiže određivanjem narinitog tlaka što odgovara dobro znanim težinama utega. U ovoj metodi vaganje masa uređaja prije umjeravanja nije obavezno.

Za potrební certifikat umjeravanja metodom A treba uključiti sljedeće tehničke podatke:

- vrstu radnog fluida
- koeficijent linearnog toplinskog rastezanja sklopa klip-cilindar
- položaj razine etalonskog tlaka
- informacije o tome kako pretvoriti vrijednosti tlaka za izmjerenu temperaturu i lokalno ubrzanje zbog gravitacije.

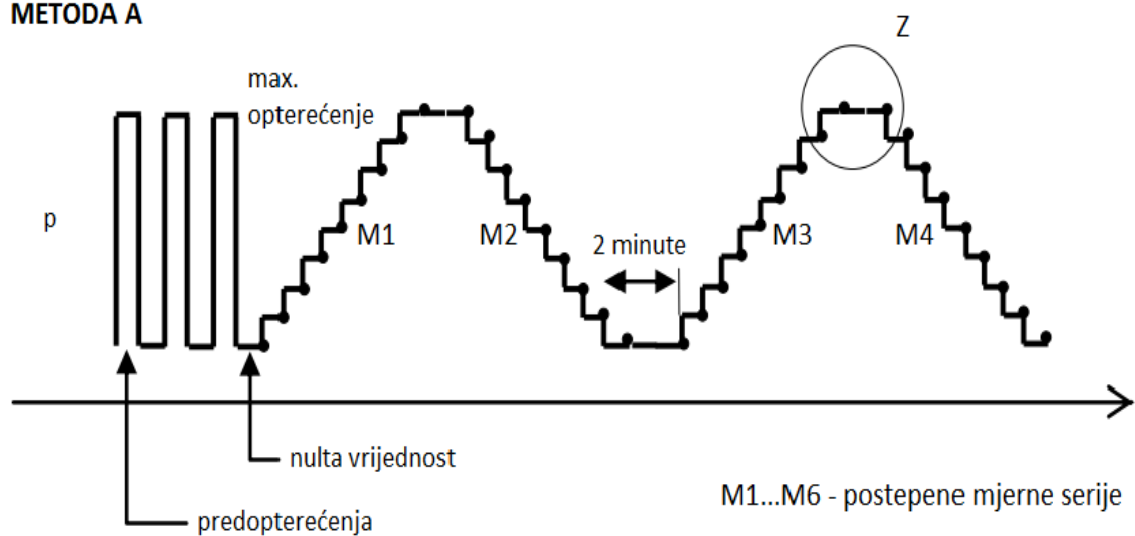
Početni dio prije početka mjerenja opisan je pod točkom 3.2. i primjenjuje se u sve tri metode. Nadalje, osiguraju se osnovni uvjeti za umjeravanje koji su opisani pod točkom 3.1. kada je tlačna vaga u nultoj vrijednosti. Nakon toga se radi predopterećenje sustava tako da se narine maksimalan tlak umjeravanog tlaka tri puta. Pričeka se 30 sekundi u nultoj vrijednosti te se kreće s mjernom serijom. Mjerna serija izgleda tako da se postepeno podiže tlak dodavanjem utega od početne do krajnje mjerne točke te se očitava tlak za svaku točku i zapisuje. U ovoj metodi radimo 4 mjerne serije [Slika 6]. Počinjemo s uzlaznom mjernom serijom do maksimalnog tlaka s kojim smo predopteretili sustav. Pri dolasku do maksimalnog tlaka potrebno je pričekati minimalno dvije minute što vidimo iz detalja Z na Slici 7. Međutim, pri umjeravanju tlaka s Bourdonovim manometrom to vrijeme iznosi minimalno pet minuta. Nadalje, slijedi silazna mjerna serija u kojoj se tlak postepeno smanjuje sve do nulte vrijednosti. U nultoj vrijednosti se pričekava 2 minute te počinje isti postupak ispočetka. Ako smo iz bilo kojeg razloga morali dodatno stegnuti mjernu liniju, moramo raditi još jedna ciklus od dvije mjerne serije [Slika 8].

Nakon izvršenih mjerenja za svaki izmjereni tlak možemo dobiti sljedeće podatke:

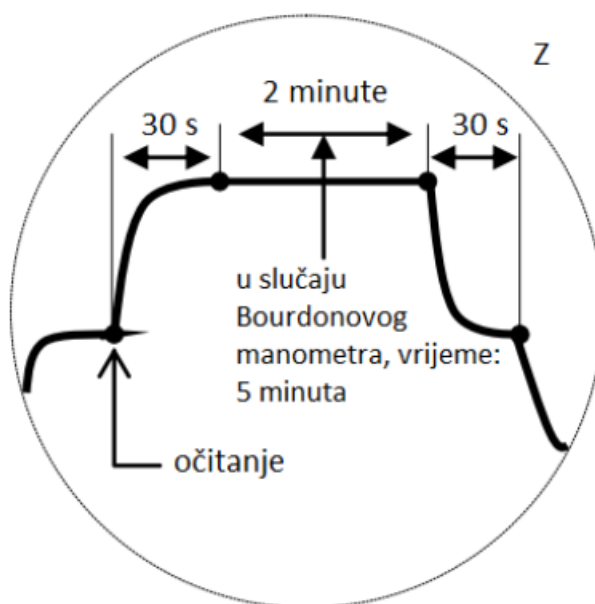
- etalonski tlak
- očitane uzlazne i silazne tlakove
- srednju vrijednost uzlaznih i silaznih tlakova
- odstupanje
- histerezu
- ponovljivost
- mjernu nesigurnost.



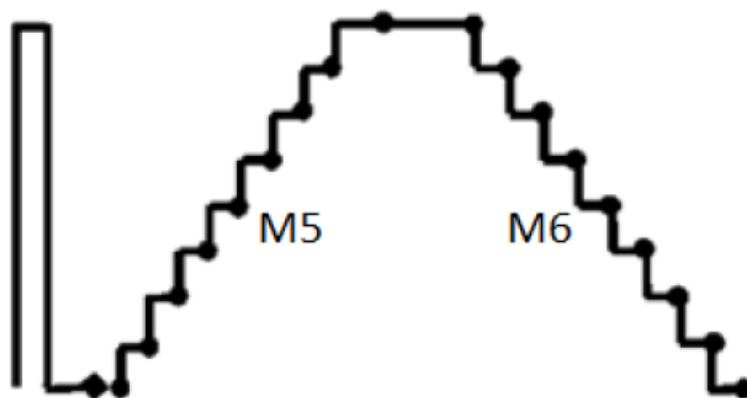
## METODA A



Slika 6. Vizualni prikaz Metode A [10]



Slika 7. Detalj Z iz vizualnog prikaza metode A [10]

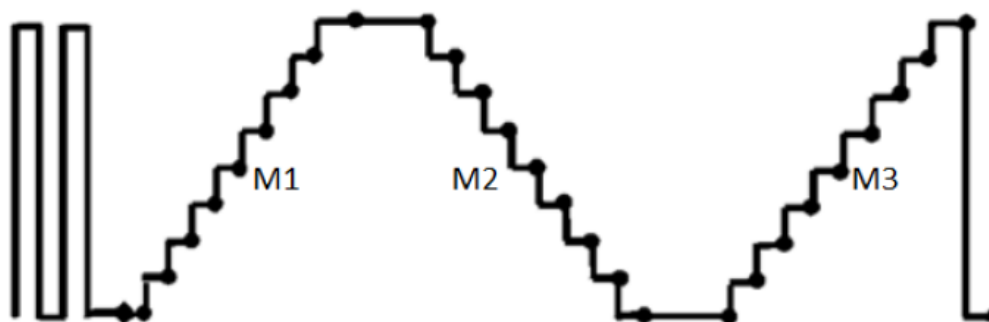


Slika 8. Metoda A-prikaz dodatne dvije mjerne serije [10]

#### 4.2.2. Metoda B

Metoda B se sastoji od dva ponavljanja predopterećenja s narinutim maksimalnim tlakom umjeravanja za razliku od metode A u kojoj se to radi tri puta. Nadalje, vrše se tri mjerne serije, a ne više četiri. Potrebno je dodati volumen za korekciju uzgona fluida kada je to potrebno. To su glavne razlike u odnosu na metodu A. Rezultati metode B su manje sigurnosti, ali mjerenja vremenski kraće traju.

##### METODA B

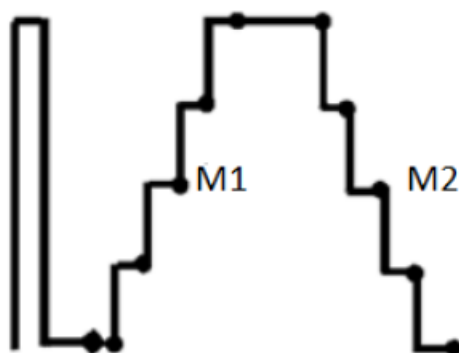


Slika 9. Vizulni prikaz metode B [10]

### 4.2.3. Metoda C

Metoda C se sastoji od jednog predopterećenja s maksimalnim narinutim tlakom umjeravanja i vraćanja na nultu vrijednost. Vrše se samo dvije mjerne sesije. Jedno uzlazno i jedno silazno mjerenje. Zbog toga je ta metoda najjednostavnija i najkraće traje. Koristi se uglavnom u edukacijske svrhe za prikaz rada umjeravanja studentima.

#### METODA C



Slika 10. Vizualni prikaz metode C [10]

## 5. NORME I UPUTE ZA PROVEDBU MEĐULABORATORIJSKIH USPOREDBI I OBRADU REZULTATA

Najrelevantnije praćenje ispravnosti rezultata mjerenja nekog laboratorija je njegovo uključivanje u programe procjene kvalitete i vođenje međulaboratorijskih usporedba s drugima. Međulaboratorijska usporedba je organizacija, izvedba i vrednovanje mjerenja ili ispitivanja istih ili sličnih predmeta ispitivanja u dva ili više laboratorija prema ranije definiranim uvjetima. [11]

### 5.1. Vrste međulaboratorijskih usporedbi

CIPM, koji je spomenut u uvodu, navodi tri vrste mjernih međulaboratorijskih usporedbi unutar dokumenta CIPM MRA [12]:

- 1) Ključne usporedbe
- 2) Dopunske usporedbe
- 3) Pilot studije

**Ključna usporedba** je kako joj i samo ime kaže ključna među ove tri vrste. Ona je najopširnija i dalje najkvalitetniji prikaz međulaboratorijske usporedbe. Za nju je odgovoran Savjetodavni odbor. Pokriva niz standarda koje su uključene u mnogo ključnih usporedbi kako bi se testirale glavne tehnike u praksi.

**Dopunsku usporedbu** obično provodi RMO kako bi se zadovoljile specifične potrebe koje nisu obuhvaćene ključnim usporedbama. Primjer možemo pronaći u regionalnoj potrebi mjerenja specifičnih artefakata ili mjerenjima parametra koji nisu unutar opsega savjetodavnog odbora. Međutim, konzulativni odbori mogu odlučiti provesti dodatnu usporedbu kada postoji nekoliko sudionika sposobnih za mjerenje potrebne količine. Pri tome to mjerenje nema veze s RMO usporedbom te je distribucija uzoraka za mjerenje ograničena.

**Pilot studija** je treća vrsta usporedbe koja se uobičajeno provodi pri uspostavljanju mjernih parametara za "novo" polje ili instrument ili kao vježba u svrhu obuke. [12]

Vrsta	Razina	Ciljevi
Ključne usporedbe (KC)	Savjetodavni odbor Konvencije o metru (CC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Izrada referentne vrijednosti ključne usporedbe (KCRV)</li> <li>- Podržava zahtjeve mogućnosti umjeravanja i mjerenja (CMC)</li> </ul>
	Regionalna mjeriteljska organizacija (RMO)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poveznica s referentnom vrijednosti ključne usporedbe (KCRV)</li> <li>- Podržava zahtjeve mogućnosti umjeravanja i mjerenja (CMC)</li> </ul>
Dopunske usporedbe (SC)	Regionalna mjeriteljska organizacija (RMO)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Upoznavanje posebnih potreba bez pokrića u ključnoj usporedbi (KC)</li> <li>- Podržava zahtjeve mogućnosti umjeravanja i mjerenja (CMC)</li> </ul>
Pilot studije (PS)	Savjetodavni odbor Konvencije o metru (CC)  Regionalna mjeriteljska organizacija (RMO)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Testiranje novih metoda ili instrumenata</li> <li>- Trening za Nacionalni mjeriteljski institut (NMI)</li> <li>- Može koristiti kao dodatna informacija pri podržavanju zahtjeva mogućnosti umjeravanja i mjerenja (CMC)</li> </ul>

Tablica 4. Usporedba vrsta međunarodnih usporedbi [11]

## 5.2. Pilot laboratorij

Kod pilot studije jednom od sudionika se treba dodijeliti uloga koordinatora koji postaje pilot laboratorij. U studiji ovog rada pilot laboratorij je LPM.

Glavne zadaće pilot laboratorija su [11]:

- odrediti skupinu sudionika
- izraditi tehnički protokol u dogovoru sa sudionicima i tehničkim odborom
- pripremiti registraciju usporedbe za bazu podataka EURAMET-a (ako se primjenjuje)
- organizirati pripreme prijenosnog etalona i njegovo kretanje među sudionicima
- uspoređivati mjerne rezultate sudionika
- konzultiranje s tehničkim odborom u slučaju većih problema kao značajna odgoda, oštećenja ili gubitka etalona
- pripremiti godišnje izvješća o postignutome za sastanke s tehničkim odborom
- vrednovati usporedbe
- pripremiti konačno izvješće.

## 5.3. Hrvatska akreditacijska agencija (HAA)

Hrvatska akreditacijska agencija je neovisna i neprofitna javna ustanova koja obavlja poslove nacionalne službe za akreditaciju u Republici Hrvatskoj. Osnovana je Uredbom Vlade Republike Hrvatske, na temelju Zakona o akreditaciji (NNbr. 158/03) radi provedbe hrvatskog tehničkog zakonodavstva koje je usklađeno s pravnom stečevinom Europske unije. [13]

Laboratoriji u Republici Hrvatskoj moraju dokazati svoju tehničku osposobljenost kako bi dobili akreditaciju. Tehnička osposobljenost se dokazuje brojnim međulaboratorijskim usporedbama, mjeriteljskim rekvizitima, primjenom kontrolnih karata, umjeravanjem različitim metodama itd. Prilikom spoznaje neispravnosti rezultata mjerenja HAA ima ovlasti laboratoriju oduzeti akreditaciju.

## **5.4. Norme za akreditaciju laboratorija**

### ***5.4.1. HRN EN ISO/IEC 17011:2005, Ocjena sukladnosti – Opći zahtjevi za akreditacijska tijela koja akreditiraju tijela za ocjenu sukladnosti***

Ova međunarodna norma određuje opće zahtjeve za akreditacijska tijela koja ocjenjuju i akreditiraju tijela za ocjenu sukladnosti. Primjenjiva je i za provedbu međusobnih ocjenjivanja akreditacijskih tijela, u svrhu postizanja sporazuma o uzajamnom priznavanju.

Akreditacijska tijela koja djeluju u skladu s ovom međunarodnom normom ne moraju pružati usluge akreditacije za sve vrste tijela za ocjenu sukladnosti. Za potrebe ove međunarodne norme, tijela za ocjenu sukladnosti definiraju se kao organizacije koje pružaju sljedeće usluge ocjene sukladnosti: ispitivanje, umjeravanje, inspekciju, certifikaciju sustava upravljanja, certifikaciju osoblja, certifikaciju proizvoda i ispitivanje sposobnosti. [13]

### ***5.4.2. HRN EN ISO/IEC 17020:2005, Opći zahtjevi za rad različitih vrsta tijela koja provode inspekciju***

Ova norma je izrađena s ciljem promicanja povjerenja u inspekcijska tijela. Njome se trebaju koristiti inspekcijska tijela koja provode razne oblike inspekcijskih poslova. Norma propisuje zahtjeve koje mora ispunjavati uprava Inspekcijsko tijelo, ili organizacija čije je tijelo dio, mora imati pravni identitet. Inspekcijsko tijelo mora imati dokumentaciju koja opisuje njezine djelatnosti i tehničko područje za koje je mjerodavno. [13]

### ***5.4.3. HRN EN ISO/IEC 17025:2007, Opći zahtjevi za osposobljenost ispitnih i umjernih laboratorija***

Ova norma utvrđuje opće zahtjeve za osposobljenost za provedbu ispitivanja i umjeravanja, uključujući i uzorkovanje, a primjenjiva je za sve organizacije koje provode ispitivanja i umjeravanja bez obzira na vrste ispitivanja i umjeravanja, veličinu organizacije i opseg ispitivanja i umjeravanja. [13]

### ***5.4.4. HRN EN ISO/IEC 17043:2010, Ocjenjivanje sukladnosti – Opći zahtjevi za ispitivanje sposobnosti***

Ova norma utvrđuje opće zahtjeve za osposobljenost organizatora shema ispitivanja sposobnosti te za razvoj i izvedbu shema ispitivanja sposobnosti. Ovi zahtjevi namijenjeni su da budu općeniti za sve vrste shema ispitivanja sposobnosti te mogu biti upotrijebljeni kao osnova za specifične tehničke zahtjeve u pojedinom području primjene. [13]



## **6. PROTOKOL USPOREDBE ZA TLAK OD 0 DO 600 BAR-A**

Tehnički protokol sastavlja pilot laboratorij u dogovoru sa sudionicima usporedbe. On je vrlo bitan i treba ga se pridržavati kako bi mjerenja bila što kvalitetnija. EUROMET nalaže da tehnički protokol sadrži sljedeće podatke [11]:

- uvod u temu i točnu definiciju mjernih veličina u usporedbi
- opis sheme usporedbe
- provjeru stabilnosti prijenosnih standardnih uređaja
- vremenski raspored, posebice datum početka i predviđeni datum završetka usporedbe
- opis prijenosnih standardnih uređaja: proizvod, vrstu, serijski broj, tehničke podatke potrebne za rad, izjava o stabilnosti
- savjete za rukovanje i organiziranje transporta prijenosnog standardnog uređaja
- ispitivanje treba provesti prije mjerenja
- rukovanje prijenosnim standardnim uređajem pri primitku i tijekom mjerenja
- opis korištene metode umjeravanja, mjernih uvjeta i umjeravanih točaka
- prikaz rezultata
- popis glavnih sastavnica proračuna mjerne nesigurnosti
- tablični prikaz rezultata mjerenja
- načelo vrednovanja rezultata i način povezivanja s odgovarajućim etalonskim vrijednostima
- financijske aspekte kao što su putni troškovi ili troškovi za prijenos standardnih uređaja
- upućivanje na korisne dokumente.

## 7. OPIS PROVEDENIH MJERENJA U UMJERAVANOM LABORATORIJU

Umjeravani laboratorij za izradu ovog rada bio je BMB laboratorij Brcković te je umjeravanje provedeno 6.11.2018.

BMB laboratorij osnovan je 01.10.1987. kao prvi privatni laboratorij u Hrvatskoj (drugi privatni laboratorij u cijeloj bivšoj Jugoslaviji). Laboratorij je od prvog dana registriran kao ovlašteni laboratorij tada Saveznog zavoda za mjere i dragocjene kovine Beograd u skladu sa Zakonom o mjernim jedinicama i mjerilima (Sl. list SFRJ br. 20/86) prema članku 46 stavak 4 (Rješenje br. 0302-3108/87). Odluka HAA o dodjeljivanju akreditacije laboratoriju prema HRN EN ISO/IEC 17025:2007 donesena je 26.10.2010. te su od tada akreditirani umjerni laboratorij za umjeravanje mjerila tlaka i temperature. Nalaze se na Čulinečkoj cesti 87 u Zagrebu. [14]

### 7.1. Korišteni ispitivani pretvornik tlaka

Za umjeravanje je korišten električni pretvornik tlaka s pokazivačem od 0 do 600 bar-a.

Uređaj	Električni pretvornik tlaka s pokazivačem
Proizvođač	WIKA
Tip	P-30
Tvornički broj	2266151
Najmanji podjeljak	0,01 bar
Mjerno područje	0 do 600 bara
Izlazni signal	USB 2.0
Električna veza	USB kabel s utikačem tipa A
Duljina kabla	1,8 m
Napajanje	USB standardni napon
Ciljana mjerna nesigurnost	0,05% FS
Brzina prijenosa podataka	9600 Bd

Tablica 5. Karakteristike umjeravanog pretvornika tlaka



Slika 11. WIKA P-30 električni pretvornik

## 7.2. Metoda umjeravanja

Predmet je umjeravan prema odobrenom postupku UP13 Umjeravanje mjerila tlaka (Izdanje 10,2017) sukladno s Uputom DKD-R 6-1, Umjeravanje mjerila tlaka (Ed. 3,2014)

### 7.3. Podaci stanja okoliša

	Temperatura zraka (°C)	Relativna vlažnost zraka (%)	Tlak zraka (hPa)
Mjereno	22,1	55,2	1005,0
Mjerna nesigurnost (U)	0,3	2,5	0,2

Tablica 6. Podaci stanja okoliša BMB laboratorija

### 7.4. Etalonska oprema

Korištena je tlačna vaga VDO-Budenberg.

Uređaj	Tlačna vaga VDO-Budenberg
Raspon mjerenja	1/60 i 20/1200 bar
Tip	380H
Tvornički broj	19360
Mjerna nesigurnost	$U=1 \times 10^{-4} \times p$ , za $k=2$
Tlačni medij	Tekućina
Naljepnica	03793-630-017-17 i 03915-630-017-17

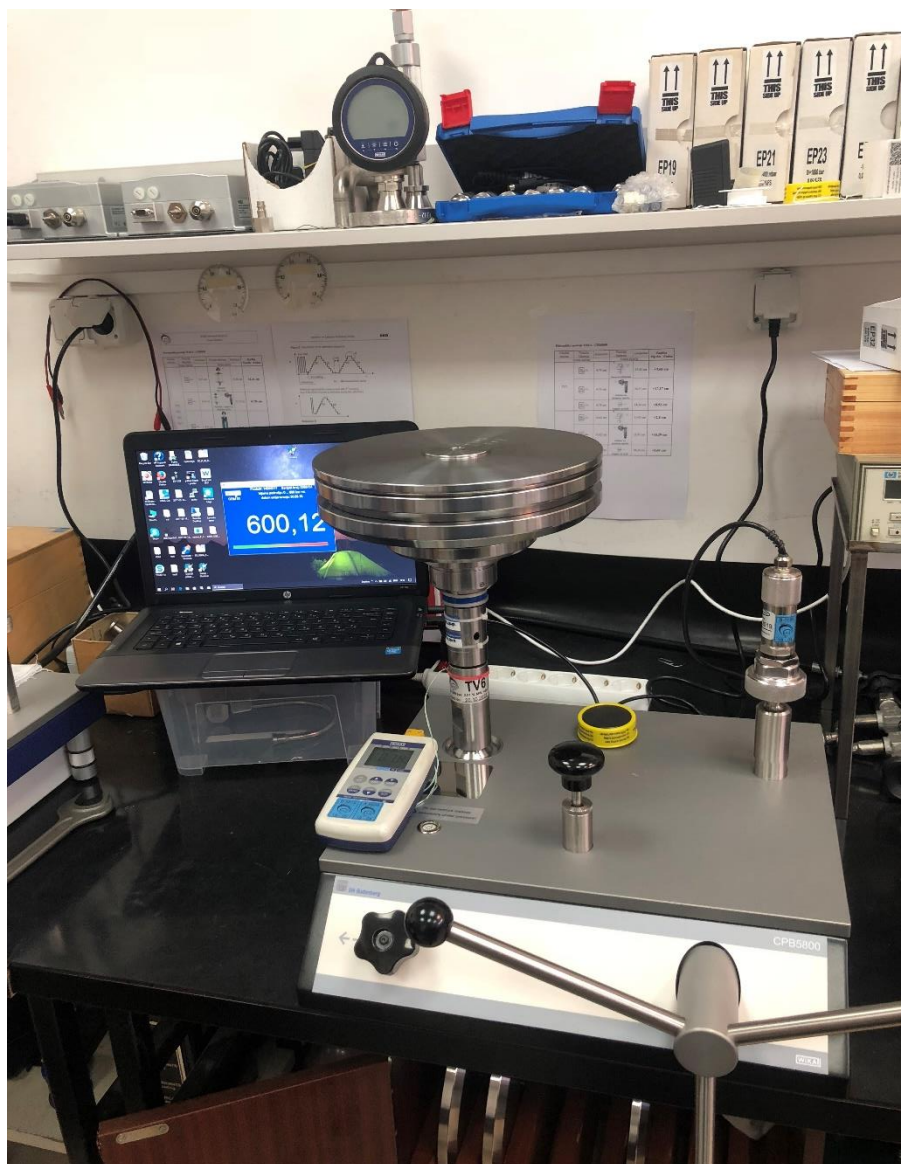
Tablica 7. Podaci o tlačnoj vagi BMB laboratorija



Slika 12. Mjerenje temperature sklopa klip-cilindar

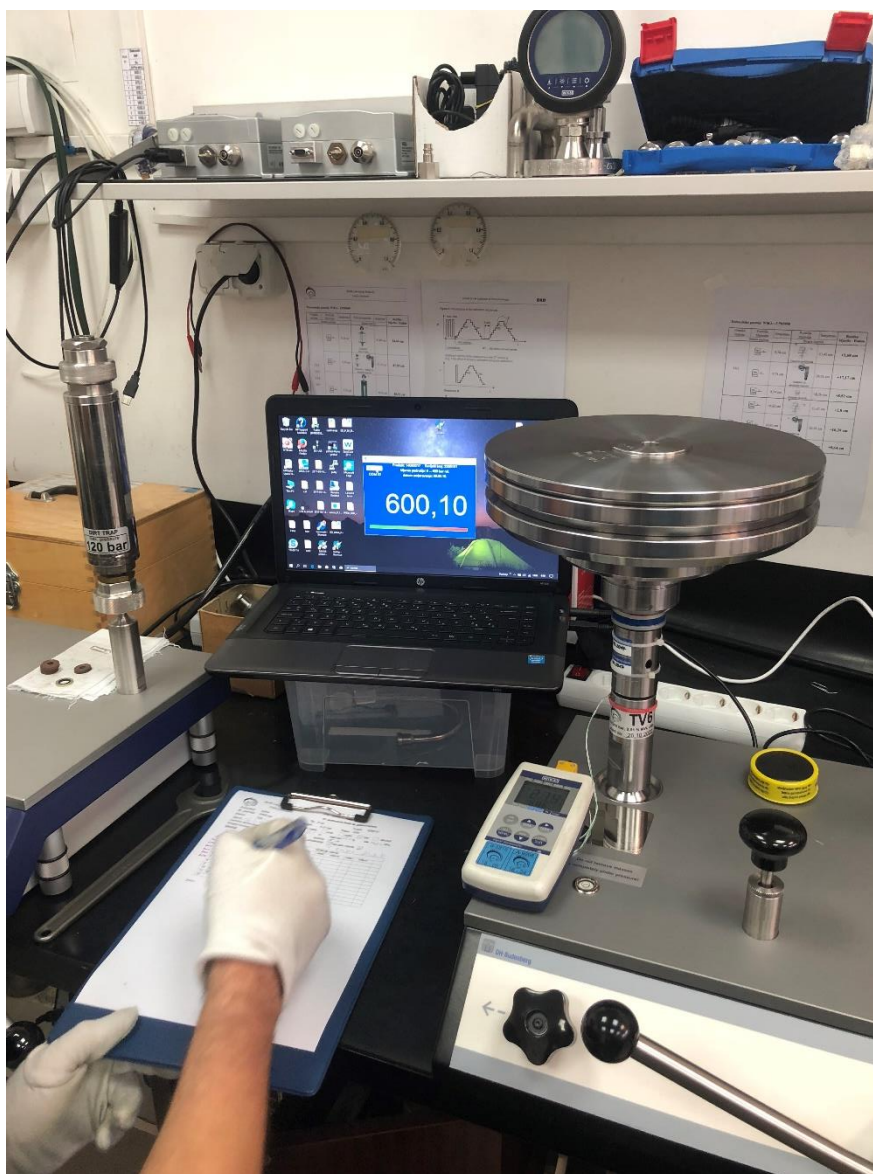
## 7.5. Mjerni uvjeti

- Mjerilo je umjeravano u laboratoriju.
- Položaj tijekom umjeravanja je bio vertikaln.
- Referentni nivo na priključku mjerila.
- Tlačni medij je bio ulje.



Slika 13. Prikaz mjernog sustava BMB laboratorija





Slika 14. Zapisivanje mjernih rezultata

## 7.6. Mjerni rezultati BMB laboratorija

Umjeravanje je provedeno za potrebe međulaboratorijske usporedbe u dogovorenim točkama 0, 100, 200, 300, 400, 500, 600 bara

Rezultati umjeravanja odnose se na navedeno mjerilo i uvjete pri umjeravanju.

Mjerna nesigurnost odgovara vrijednosti složene nesigurnosti pomnožene s faktorom pokrivanja  $k=2$ . Ona je utvrđena prema EA-4/02. Navedeni rezultat mjerenja normalno se nalazi u naznačenim granicama vrijednosti s područjem povjerenja od približno 95%.

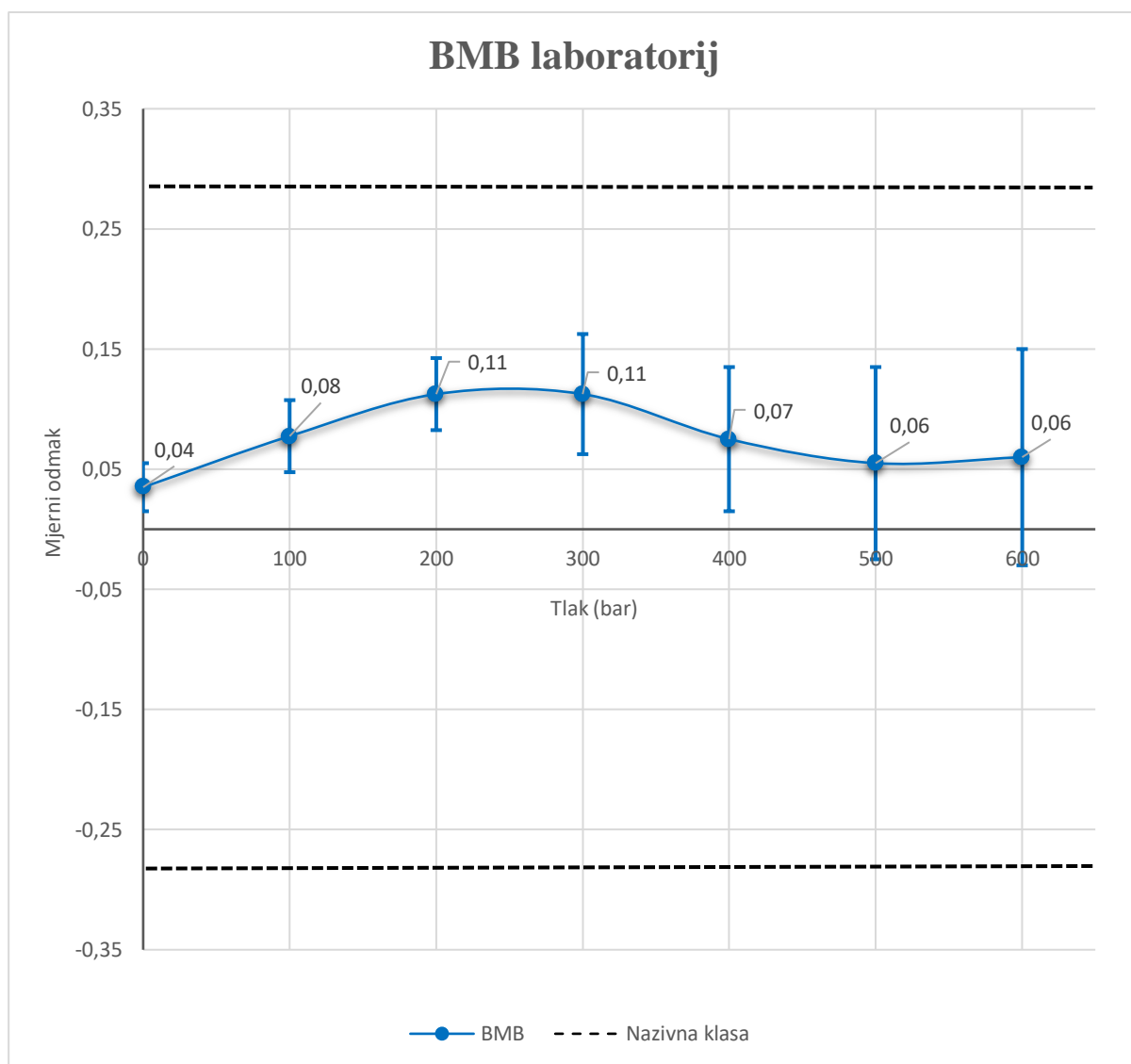
Red. br.	Etalonski tlak	Očitavanje na umjeravanom mjerilu			
		Uzlazno	silazno	uzlazno	silazno
	<b>Pe</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>M4</b>
	(bar)	(bar)	(bar)	(bar)	(bar)
1	0	0,02	0,05	0,03	0,04
2	100,02	100,10	100,09	100,09	100,11
3	200,03	200,12	200,15	200,14	200,16
4	300,03	300,14	300,14	300,13	300,16
5	400,04	400,11	400,12	400,10	400,13
6	500,04	500,09	500,11	500,08	500,10
7	600,03	600,08	600,09	600,11	600,08

Tablica 8. Izmjerene vrijednosti tlakova u BMB laboratoriju

Red. br.	Etalonski tlak	Srednja vrijednost	Mjerni odmak	Histereza	Ponovljivost	Mjerna nesigurnost
	<b>Pe</b>	<b>Ms<sub>r</sub></b>	<b>Ms<sub>r</sub>-Pe</b>	<b>h</b>	<b>b'</b>	<b>U</b>
	(bar)	(bar)	(bar)	(bar)	(bar)	(bar)
1	0	0,04	0,04	0,02	0,01	0,02
2	100,02	100,10	0,08	0,01	0,02	0,03
3	200,03	200,14	0,11	0,03	0,02	0,03
4	300,03	300,14	0,11	0,02	0,02	0,05
5	400,04	400,12	0,07	0,02	0,01	0,06
6	500,04	500,10	0,06	0,02	0,01	0,08
7	600,03	600,09	0,06	0,02	0,03	0,09

Tablica 9. Izračunate vrijednosti BMB laboratorija





Slika 15. Grafički prikaz mjernih rezultata u BMB laboratoriju

## 8. OPIS PROVEDENIH MJERENJA U LPM-FSB LABORATORIJU

Laboratorij za procesna mjerenja (LPM), Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu nositelj je državnih etalona za temperaturu, tlak i vlažnost Hrvatskog mjeriteljskog instituta. Akreditirani je umjereni laboratorij prema normi ISO/IEC 17025 od 2002. godine. Nadalje, u LPM-u se još mjere i proučavaju protok, brzina strujanja fluida, masa, toplinska energija i toplinska svojstva tvari. To se sve nalazi na otprilike 400 m<sup>2</sup> koji pripadaju LPM-u u kojem su djelatnici objavili više od 150 znanstvenih i stručnih radova. [15]

Umjeravan je pretvornik tlaka opisan pod točkom **6.1.** ovog rada na etalonskoj tlačnoj vagi LPM-a interne oznake TLVAG-08

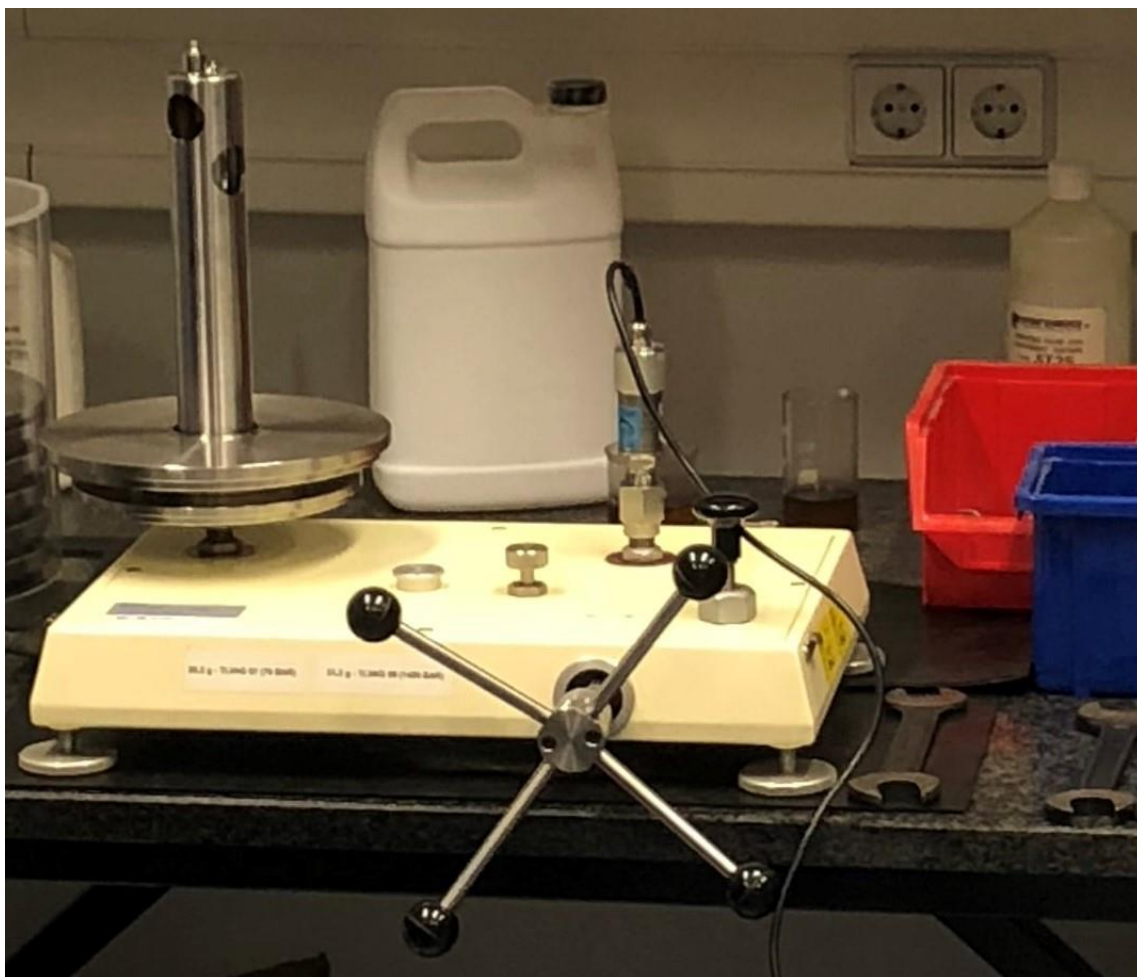
Umjeravanje se vršilo pomoću metode A u točkama 0, 100, 200, 300, 400, 500 i 600 bara prema smjernicama DKD-R 6-1. [15]

### 8.1. Etalonska tlačna vaga

Za umjeravanje u LPM-u korištena je tlačna vaga interne oznake TLVAG-08 [Slika 16] čije su karakteristike dane u Tablici 10.

Radni etalon (Standard)	TLVAG - 08
Vlasnik mjerila	FSB - LPM
Proizvođač	DRUCK
Tvornički broj	3088442
Tip	PDCR 2200 - 1939
Mjerno područje	0-600
Jedinica tlaka	bar
Podjela skale	0,01
Razred točnosti	0,025%

Tablica 10. Karakteristike tlačne vage TLVAG-08



Slika 16. TLVAG-08 s utezima

## 8.2. Uvjeti ispitivanja u LPM-FSB laboratoriju

Podaci okolišnog stanja u LPM-u prikazani su u Tablici 11.

Temperatura	$24 \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Tlak	$1015 \pm 1 \text{ mbar}$
Relativna vlažnost zraka	37%
$\Delta h$	150 mm

Tablica 11. Prikaz stanja okoliša LPM - FSB laboratorija

### 8.3. Postupak određivanja efektivnog tlaka za etalonsku vagu TLVAG-08

Osnovna jednačina za izračun efektivnog tlaka za idealni sklop klip-cilindar je:

$$p_e = \frac{F}{A_e} \quad (8)$$

#### 8.3.1. Korekcije jednačine za izračun efektivnog tlaka

Kako ona vrijedi samo u idealnom slučaju, moramo uzeti u obzir sljedeće korekcije:

- 1) Korekcija ukupne sile
- 2) Korekcija efektivne površine
- 3) Korekcija zbog statičkog tlaka stupca fluida

##### 8.3.1.1. Korekcija ukupne sile

Korekcija ukupne sile vrši se upotrebom formule (9).

$$F = \sum_i m_i \cdot \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_i}\right) \cdot g + \Gamma \cdot c \quad (9)$$

Pri čemu članovi u zagradi predstavljaju korekciju zbog uzgonskog djelovanja okolišnog zraka, dok član  $\Gamma \cdot c$  predstavlja korekciju zbog uzgonskog djelovanja okolnog zraka.

##### 8.3.1.2. Korekcija efektivne površine

Korekcija efektivne površine vrši se upotrebom formule (10).

$$A_e = A_0 \cdot (1 + \lambda \cdot p) \cdot [1 + (\alpha_k + \alpha_c) \cdot (t - 20)] \quad (10)$$

Prvi zagrada predstavlja linearnu ovisnost promjene efektivne površine ovisno o tlaku, dok uglata zagrada predstavlja korekciju zbog odstupanja od referentne vrijednosti temperature od 20 °C.

##### 8.3.1.3. Korekcija zbog statičkog tlaka stupca fluida

Korekcija zbog statičkog tlaka stupca fluida vrši se pridruživanjem izraza (11).

$$(\rho_f - \rho_a) \cdot g \cdot h \quad (11)$$

### 8.3.1.4. Finalna formula za izračun efektivnog tlaka

Uvrstiši sve opisane korekcije dolazimo do izraza za efektivni tlak (12)

$$p_e = \frac{\sum_i m_i \cdot \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_i}\right) \cdot g + \Gamma \cdot c}{A_0 \cdot (1 + \lambda \cdot p) \cdot [1 + (\alpha_k + \alpha_c) \cdot (t - 20)]} + (\rho_f - \rho_a) \cdot g \cdot h \quad (12)$$

### 8.3.1.5. Konstante za izračun efektivnog tlaka etalonske vage TLVAG-08

Konstantne za izračun etalonskog tlaka kod vage TLVAG-08 dane su u Tablici 12., dok su ostale konstante okolišnih uvjeta dane u Tablici 13.

Podaci o etalonu	Oznaka	Iznos	Jedinica
Efektivna površina (atmosferski tlak)	$A_0$	4,031450E-06	m <sup>2</sup>
Koeficijent distorzije	$\lambda$	3,400000E-07	bar <sup>-1</sup>
Volumen za koji se radi korekcija	$V$	-3,200000E-07	m <sup>3</sup>
Gustoća ulja (bijelo ulje)	$\rho$	914,00	kg/m <sup>3</sup>
Površinska napetost ulja	$\sigma$	3,120000E-02	N/m
Ubrzanje sile teže za LPM	$g$	9,806220E+00	m/s <sup>2</sup>
Opseg klipa	$\Gamma$	7,115828E-03	m
Koef.temp.ekspanzije	$\alpha$	1,66E-05	°C <sup>-1</sup>

Tablica 12. Konstante etalonske vage

Podaci o etalonu	Oznaka	Iznos	Jedinica
Gustoća zraka	$\rho_a$	1,17	kg/m <sup>3</sup>
Temperatura sklopa	$t$	23	°C
Razlika visine između instrumenta i dna klipa	$h$	5,00	mm
Gustoća tega	$\rho_i$	7975	kg/m <sup>3</sup>

Tablica 13. Ostale konstante

## 8.4. Određivanje mjerne nesigurnosti

LPM-FSB je svoje mjerne nesigurnosti dokazao sudjelovanjem u EUROMET usporedbi. [18]

### 8.4.1. Izvori mjerne nesigurnosti

Za izračun mjerne nesigurnosti po proceduri iz DKD-R 6-1 uzeti su u obzir sljedeći izvori mjerne nesigurnosti [10]:

- 1) Nesigurnost rezolucije ispitivanog pretvornika,  $u_r$
- 2) Nesigurnost radnog etalona,  $u_{\text{standard}}$
- 3) Nesigurnost uslijed histereze,  $u_h$
- 4) Nesigurnost uslijed ponovljivosti,  $u_b$
- 5) Nesigurnost pri odstupanju od nultočke,  $u_{f_0}$

#### 8.4.1.1. Nesigurnost rezolucije ispitivanog pretvornika, $u_r$

Nesigurnost rezolucije je za digitalne pretvornike po DKD-R 6-1 jednaka rezoluciji te je u slučaju ovog umjeravanja rezolucija ( $r$ ) jednaka 0,01. Ta se nesigurnost računa prema formuli (13).

$$u_r = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot \left(\frac{r}{2}\right)^2} \quad (13)$$

#### 8.4.1.2. Nesigurnost radnog etalona, $u_{\text{standard}}$

Nesigurnost radnog etalona je zadana u podacima o etalonu i obično ovisi o ofektivnom tlaku etalona.

#### 8.4.1.3. Nesigurnost uslijed histereze, $u_h$

Nesigurnost uslijed histereze se računa po formuli (15) pri čemu se histereza ( $h$ ) određuje iz razlike nulte mjerne vrijednosti s povećanjem i smanjenjem serije prema formuli (14). U toj formuli prvi broj u indeksu se odnosi na mjernu seriju, dok se druga oznaka odnosi na mjernu točku.

$$h = \frac{1}{n} \{ |(x_{2,j} - x_{1,0}) - (x_{1,j} - x_{1,0})| + |(x_{4,j} - x_{3,0}) - (x_{3,j} - x_{3,0})| \} \quad (14)$$

$$u_h = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot \left(\frac{h}{2}\right)^2} \quad (15)$$

#### 8.4.1.4. Nesigurnost uslijed ponovljivosti, $u_{b'}$

Nesigurnost uslijed ponovljivosti se računa iz formule (19) u kojoj se javlja varijabla ponovljivosti (b). Ponovljivost je maksimalna razlika izlaznih vrijednosti za neku mjernu točku mjerenu na istim uvjetima, a uzima se kao prosjek uzlaznog i silaznog mjerenja (18).

$$b'_{uzlazno,j} = |(x_{3,j} - x_{3,0}) - (x_{1,j} - x_{1,0})| \quad (16)$$

$$b'_{silazno,j} = |(x_{4,j} - x_{3,0}) - (x_{2,j} - x_{1,0})| \quad (17)$$

$$b'_{prosjek,j} = \max\{b_{uzlazno,j}, b_{silazno,j}\} \quad (18)$$

$$u_{b'} = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot \left(\frac{b'}{2}\right)^2} \quad (19)$$

#### 8.4.1.5. Nesigurnost pri odstupanju od nultoeke, $u_{fo}$

Nesigurnost pri odstupanju od nultoeke se odnosi na nesigurnost odstupanja nulte točke te se uzima se maksimalna vrijednost (20) koja se uvrštava u traženi izraz (21).

$$f_o = \max\{|x_{2,0} - x_{1,0}|, |x_{4,0} - x_{3,0}|, |x_{6,0} - x_{5,0}|\} \quad (20)$$

$$u_{fo} = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot \left(\frac{f_o}{2}\right)^2} \quad (21)$$

#### 8.4.2. **Ukupna kombinirana standardna nesigurnost**

Ukupna kombinirana standardna nesigurnost proizlazi iz svih izvora mjerne nesigurnosti pod točkom 7.4.1. i računa se iz izraza (22).

$$u_{uzlazno/silazno} = \sqrt{u_r^2 + u_{standard}^2 + u_h^2 + u_{b'}^2 + u_{fo}^2} \quad (22)$$

#### 8.4.3. **Proširena mjerna nesigurnost**

Proširena mjerna nesigurnost se dobiva množenjem kombinirane standardne nesigurnosti s faktorom pokrivanja (23) koji je u ovom umjeravanju jednak 2 s vjerojatnošću od 95 %.

$$U_{uzlazno/silazno} = k \cdot u_{uzlazno/silazno} \quad (23)$$

## 8.5. Mjerni rezultati LPM-FSB laboratorija

Mjerenje je provedeno 14.11.2018. godine u LPM-FSB laboratoriju te su rezultati dani tablično.



Slika 17. Proces mjerenja u LPM-FSB laboratoriju

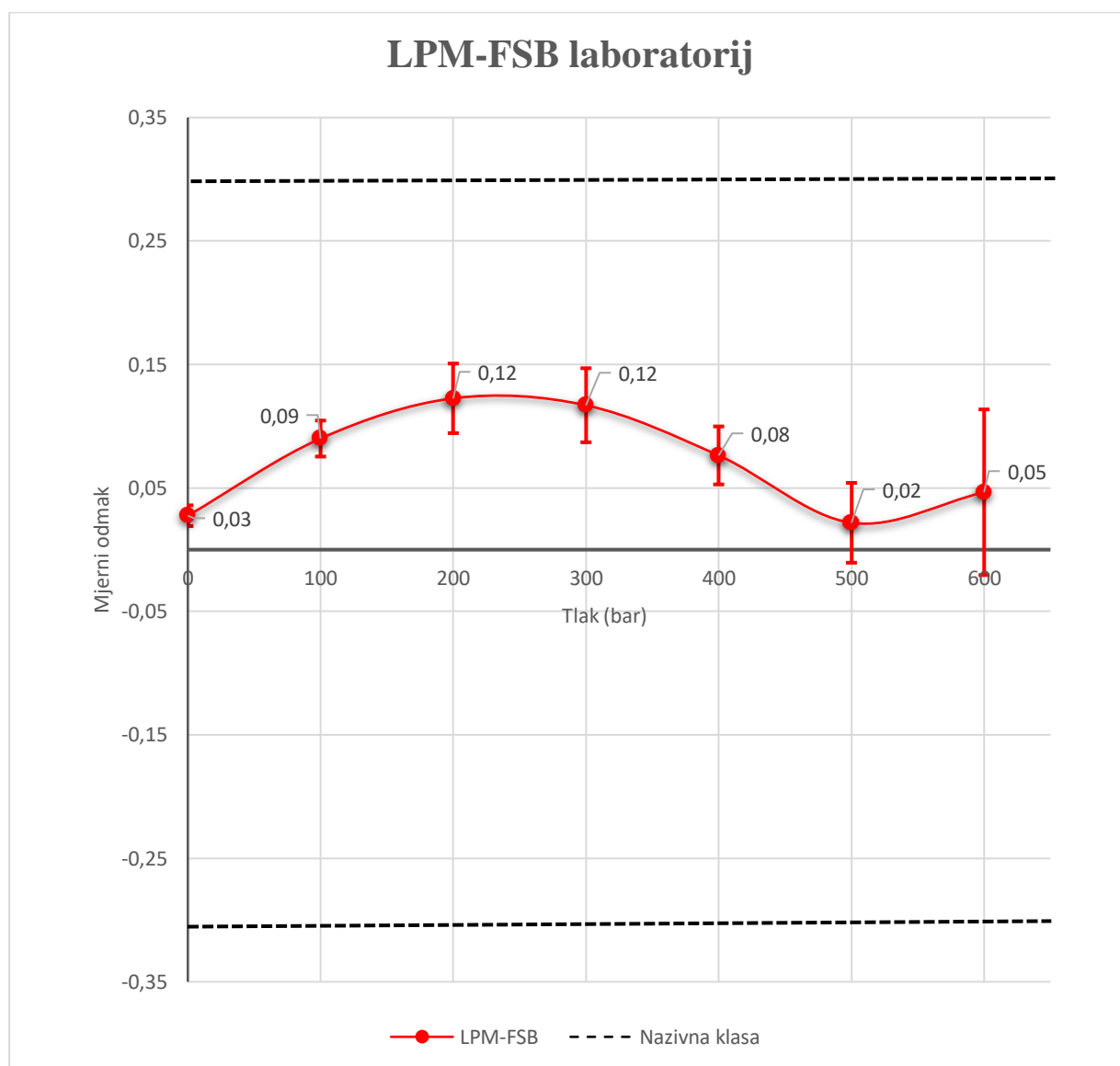


Red. Br.	Tlak etalona	Utezi br.:	Očitanje			
	p		M1	M2	M3	M4
	(bar)		(bar)	(bar)	(bar)	(bar)
1	0,000	-	0,02	0,03	0,03	0,03
2	99,995	osn. ut.,14,15,16	100,09	100,10	100,07	100,08
3	199,982	osn. ut.,14,15,16,1	200,10	200,11	200,10	200,11
4	299,968	osn. ut.,14,15,16,1,2	300,08	300,09	300,09	300,10
5	399,979	osn. ut.,14,15,16,1,2,3	400,05	400,06	400,05	400,06
6	499,996	osn. ut.,14,15,16,1,2,3,4	500,01	500,02	500,00	500,04
7	599,956	osn. ut.,14,15,16,1,2,3,4,5	599,99	599,98	600,03	600,01

Tablica 14. Izmjerene mjerne vrijednosti LPM-FSB laboratorija

Red. br.	Etalonski tlak	Srednja vrijednost	Mjerni odmak	Histereza	Ponovljivost	Mjerna nesigurnost
	Pe	Msr	Msr-Pe	h	b'	U
	(bar)	(bar)	(bar)	(bar)	(bar)	(bar)
1	0,000	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01
2	99,995	100,09	0,09	0,01	0,02	0,01
3	199,982	200,11	0,12	0,01	0,00	0,03
4	299,968	300,09	0,12	0,02	0,03	0,03
5	399,979	400,06	0,08	0,01	0,00	0,02
6	499,996	500,02	0,02	0,03	0,02	0,03
7	599,956	600,00	0,05	0,01	0,10	0,07

Tablica 15. Izračunate vrijednosti LPM-FSB laboratorija



Slika 18. Grafički prikaz mjerenja u LPM-FSB laboratoriju

## 9. ANALIZA REZULTATA USPOREDBE I ODREĐIVANJE $E_n$ VRIJEDNOSTI

Ocjena valjanosti se kod međulaboratorijskih ispitivanja definira kriterijima prihvatljivosti koji se temelje na unaprijed dogovorenim graničnim vrijednostima ili podacima koji se temelje na statističkim proračunima. Za izradu ovog rada korištena je  $E_n$  vrijednost kao kriterij prihvatljivosti.

### 9.1. $E_n$ vrijednost

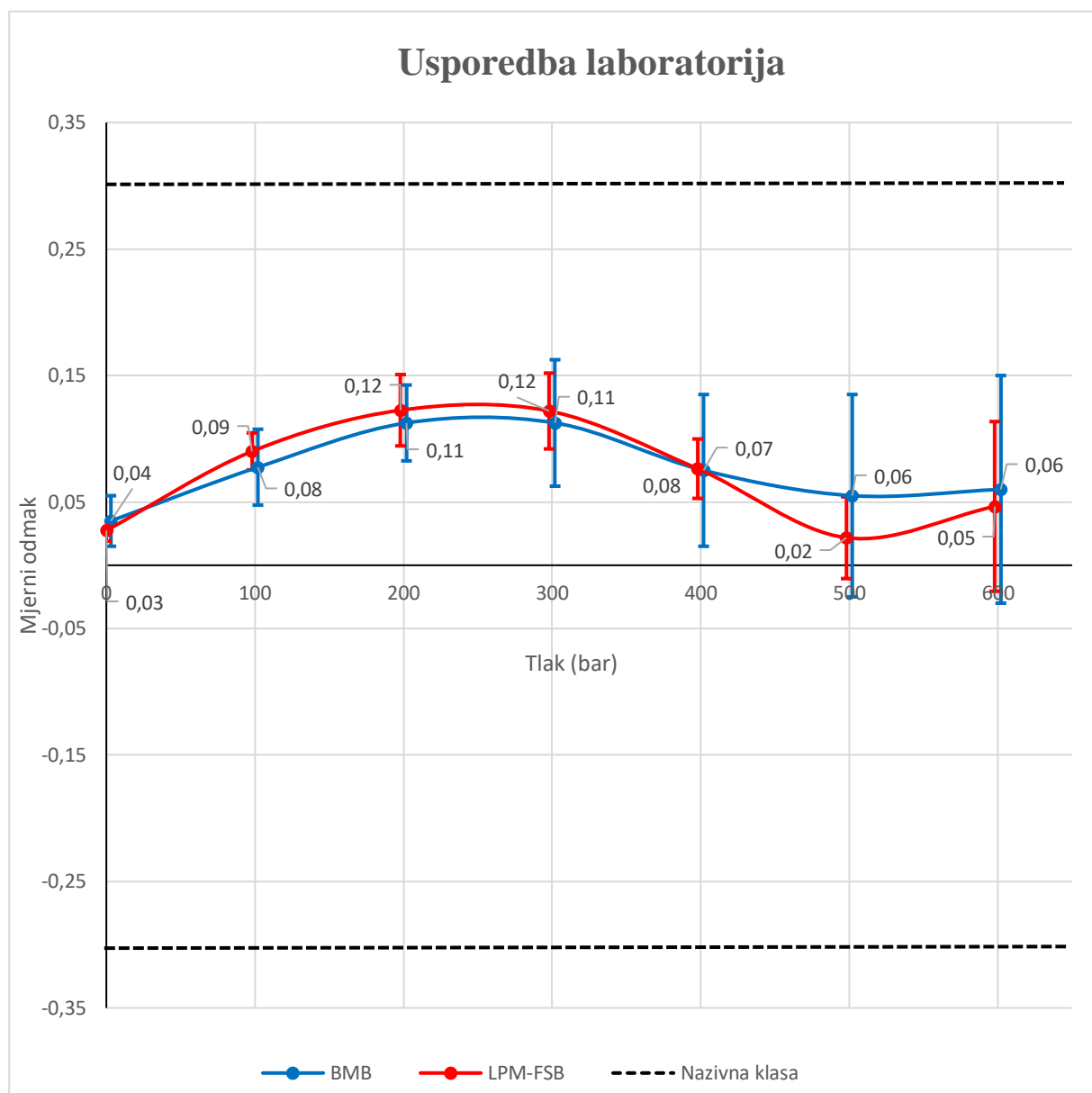
Faktor slaganja ( $E_n$ ) jedan je od ključnih kriterija za prihvaćanje međulaboratorijske usporedbe. Proračunava se za svaku izmjerenu točku mjerenja u koju ulazi rezultat referentnog i umjeravanog laboratorija.

Osnovni uvjet za prihvatljivost kriterija  $E_n$  vrijednosti je :

- $|E_n| \leq 1$  Kriterij prihvaćen
- $|E_n| > 1$  Kriterij nije prihvaćen

Računa se iz izraza (24)

$$E_n = \frac{(x_{BMB} - x_{LPM-FSB})}{\sqrt{U_{BMB}^2 + U_{LPM-FSB}^2}} \quad (24)$$



Slika 19. Grafički prikaz mjernih rezultata oba laboratorija

Red. Br.	Nazivni tlak	Mjerni odmak LPM-FSB	Mjerni odmak BMB	Nesigurnost umjeravanja LPM-FSB	Nesigurnost umjeravanja BMB	$ E_n $
	Pm	Ms <sub>r</sub> -P <sub>e</sub>	Ms <sub>r</sub> -P <sub>e</sub>	U	U	
	(bar)	(bar)	(bar)	(bar)	(bar)	
1	0	0,03	0,04	0,01	0,02	0,35
2	100	0,09	0,08	0,01	0,03	0,37
3	200	0,12	0,11	0,03	0,03	0,91
4	300	0,12	0,11	0,03	0,05	0,90
5	400	0,08	0,07	0,02	0,06	0,93
6	500	0,02	0,06	0,03	0,08	0,90
7	600	0,05	0,06	0,07	0,09	0,78

Tablica 16. Izračunate  $E_n$  vrijednosti

Kako je za sve točke mjerenja  $E_n$  vrijednost manja od 1, kriterij prihvaćenosti je zadovoljen.

---

## 10. ZAKLJUČAK

U ovom radu su detaljno prikazane i objašnjenje metode umjeravanja koje se koriste kod međulaboratorijske usporedbe. Primarni zadatak je bio provedba međulaboratorijske usporedbe mjerenja tlakova u točkama 0, 100, 200, 300, 400, 500 i 600 bar-a po unaprijed definiranom protokolu. Umjeravani laboratorij bio je BMB Brcković, a predmet umjeravanja električni pretvornik P-30. Nakon provedenom mjerenja u umjeravanom laboratoriju provedeno je mjerenje u LPM-FSB laboratoriju koji je između ostalog nositelj etalona tlaka. Izračunata je histereza, ponovljivost, mjerna nesigurnost te mjerni odmak koji je prikazan grafički za oba mjerenja.

Iz posljednjeg grafa u kojem su prikazana oba mjerenja s mjernim odmakom i mjernom nesigurnosti zaključujemo da su sve točke mjerenja upale u područje mjerne nesigurnosti. Nadalje, izračunata  $E_n$  vrijednost za sve točke manja je od 1 iz čega možemo zaključiti da je kriterij prihvaćenosti zadovoljen.

---

**LITERATURA**

- [1] O'Connor, John J.; Robertson, Edmund F. (January 2004), "History of measurement"
- [2] <https://en.wikipedia.org/wiki/Measurement> (Pristupljeno: prosinac 2018.)
- [3] Biserka Runje: „Autorizirana predavanja iz kolegija Mjeriteljstvo“
- [4] [https://en.wikipedia.org/wiki/International\\_Committee\\_for\\_Weights\\_and\\_Measures](https://en.wikipedia.org/wiki/International_Committee_for_Weights_and_Measures) (Pristupljeno: prosinac 2018.)
- [5] [https://en.wikipedia.org/wiki/International\\_Bureau\\_of\\_Weights\\_and\\_Measures](https://en.wikipedia.org/wiki/International_Bureau_of_Weights_and_Measures) (Pristupljeno: prosinac 2018.)
- [6] Zvizdić, D., Grgec Bermanec, L.: Podloge za predavanja iz kolegija Mjerenje u energetici, 2017.
- [7] JCGM 200:2008 International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM)
- [8] [https://www.tecsis.com/fileadmin/Content/tecsis/2\\_Files/2\\_Pressure/G\\_Test\\_Technology/de537.pdf](https://www.tecsis.com/fileadmin/Content/tecsis/2_Files/2_Pressure/G_Test_Technology/de537.pdf) (Pristupljeno: prosinac 2018.)
- [9] EUROMET: Calibration of Pressure Balances, 2017
- [10] DKD-R 6-1 Guideline, Calibration of Pressure Gauges, 03/2014
- [11] EURAMET: Guide on Comparisons, 2016
- [12] CIPM MRA-D-05: Measurement comparisons in the CIPM MRA, 2016.
- [13] <http://www.svijet-kvalitete.com/index.php/akreditacija/629-predstavljamo-haa%20> (Pristupljeno: prosinac 2018)
- [14] <http://www.bmb-laboratorij.hr> (Pristupljeno: prosinac 2018)
- [15] <https://www.fsb.unizg.hr/index.php?ztermo&lpm> (Pristupljeno: prosinac 2018)
- [16] <https://leksikon.muzej-marindrzic.eu/orlando/> (Pristupljeno: prosinac 2018)
- [17] <https://www.industrysearch.com.au/wika-model-cpb5000-pressure-balance/p/55588> (Pristupljeno: prosinac 2018)
- [18] LG Bermanec, D Pantic, B Ramac: „Final report on comparison of hydraulic pressure balance effective area determination in the range up to 80 MPa“

---

## **PRILOZI**

- I. CD-R disc
- II. Potvrda o umjeravanju





**BMB Laboratorij Brcković**  
Umjerni laboratorij  
BMB Laboratory Brcković - Calibration laboratory



**Laboratorij za umjeravanje mjerila tlaka, temperature i relativne vlažnosti**  
Laboratory for the calibration of pressure, temperature and relative humidity devices

**Potvrda o umjeravanju**  
**Calibration certificate**

Umjerna naljepnica  
Calibration label




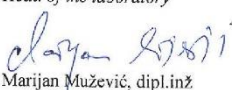
Predmet umjeravanja Object	<b>El. pretvornik tlaka sa pokazivačem, 0 do 600 bar</b>	Potvrda o umjeravanju dokazuje sljedivost prema nacionalnim etalonima koji ostvaruju mjerne jedinice u skladu s Međunarodnim sustavom jedinica (SI). Korisnik se obvezuje na ponovno umjeravanje u odgovarajućim vremenskim razmacima. Umjeravanje je provedeno u skladu s akreditacijom i mjernim mogućnostima laboratorija. Dobivena mjerna nesigurnost ne uzima u obzir moguće promjene predmeta umjeravanja kroz dulje razdoblje. <i>This calibration certificate documents the traceability to national standards, which realise the units of measurement according to the International System of Units (SI).</i>
Proizvođač Manufacturer	<b>WIKA</b>	<i>The user is obliged to have the object recalibrated at appropriate intervals. The calibration is performed according to the accreditation and measurement capabilities of the laboratory.</i>
Tip Type	<b>P-30</b>	<i>The reported uncertainty does not include an estimation of long-term variations.</i>
Tvornički broj Serial number	<b>2266151</b>	
Naručitelj Customer	<b>BMB Laboratorij Brcković Čulinečka 87 10040 Zagreb-Dubrava</b>	
Vlasnik Owner		
Oznaka zahtjeva Order no.	<b>IK-033</b>	
Ukupan broj stranica potvrde Number of pages of the certificate	<b>3</b>	
Datum umjeravanja Date of calibration	<b>06.11.2018.</b>	

Mjerna nesigurnost navedena u ovoj potvrdi o umjeravanju odgovara vrijednosti složene nesigurnosti pomnožene s faktorom pokrivanja  $k = 2$ . Ona je određena prema EA-4/02. Navedeni rezultat mjerenja normalno se nalazi u naznačenim granicama vrijednosti s područjem povjerenja od približno 95 %.

Potvrda o umjeravanju smije se umnožavati samo u cijelosti, osim uz odobrenje BMB Laboratorija Brcković.  
Potvrda o umjeravanju nije valjana bez potpisa i žiga.

*There is stated that expanded uncertainty of measurement results from combined standard uncertainty by multiplying with the coverage factor  $k = 2$ . It was determined according to EA-4/02. The value of the measurand is normally within the assigned interval of values with a confidence level of approximately 95 %.*

*This calibration certificate may be reproduced only in full, except with the permission of BMB Laboratory Brcković.  
Calibration certificates without signature and seal are not valid.*

Žig Seal	Datum Date	Voditelj laboratorija Head of the laboratory
	06.11.2018.	 Marijan Mužević, dipl.inž

BMB Laboratorij Brcković – Umjerni laboratorij  
10040 ZAGREB, Čulinečka cesta 87, tel.: ++385 (1) 2866-893, 2865-184, fax: ++385 (1) 2866-892  
IBAN: HR2623400091160428706 Privredna banka, MBO: 90741587, OIB: 47590958254  
e-mail: info@bmb-laboratorij.hr; www.bmb-laboratorij.hr

UF19/11

stranica 2 od  
page from 3



**Metoda umjeravanja:** Predmet je umjeravan prema odobrenom postupku UP13 Umjeravanje mjerila tlaka (Izdanje 10, 2017) sukladnom sa Uputom DKD-R 6-1, Umjeravanje mjerila tlaka (Ed. 3, 2014).

**Calibration method:** *Item is calibrated according to the approved procedure UP13 Calibration of pressure devices (Issue 10, 2017) compatible with the Guideline DKD-R 6-1, Calibration of Pressure Gauges (Ed. 3, 2014).*

**Podaci klime okoliša:**  
*Environment conditions:*

	Temperatura zraka <i>Air temperature</i> (°C)	Relativna vlažnost <i>Humidity</i> (%)	Tlak zraka <i>Air pressure</i> (hPa)
Mjereno <i>Measured</i>	22,1	55,2	1005,0
Mjer. nesigurnost (U) <i>Uncertainty</i>	0,3	2,5	0,2

**Opis predmeta umjeravanja:**  
*Item description:* El. pretvornik tlaka sa pokazivačem, mjernog područja 0 do 600 bar, najmanjeg podjeljka 0,01 bar, ciljane mjerne nesigurnosti 0,05 % FS

**Etalonska oprema:**  
*Used standards:* – Tlačna vaga VDO-Budenberg; 1/60 i 20/1200 bar, tip 380H, tv.br. 19360, mj. nesig. (k=2)  $U = 1 \times 10^{-4} \times p$ , min. 0,6 mbar (za 1/60) i  $1 \times 10^{-4} \times p$ , min 5 mbar (za 20/1200), umjerena u SMU, tlačni medij tekućina, naljep. 03793-630-017-17 i 03915-630-017-17.

**Mjerni uvjeti:**  
*Measurement conditions:* Mjerilo je umjeravano u laboratoriju.  
Položaj tijekom umjeravanja: vertikalni.  
Referentni nivo na priključku mjerila.  
Tlačni medij ulje.

**Zapažanja:**  
*Notes:* Umjeravanje je provedeno za potrebe međulaboratorijske usporedbe u dogovorenim točkama 0, 100, 200, 300, 400, 500, 600 bar.

Rezultati umjeravanja odnose se na navedeno mjerilo i uvjete pri umjeravanju.  
*The results of calibration are referred to specific object and conditions.*

BMB Laboratorij Brcković – Umjerni laboratorij  
10040 ZAGREB, Čulinečka cesta 87, tel.: ++385 (1) 2866-893, 2915-987, fax: ++385 (1) 2866-892  
IBAN: HR2623400091160428706 Privredna banka, MBO: 90741587, OIB: 47590958254  
e-mail: info@bmb-laboratorij.hr, www.bmb-laboratorij.hr

UF19/11



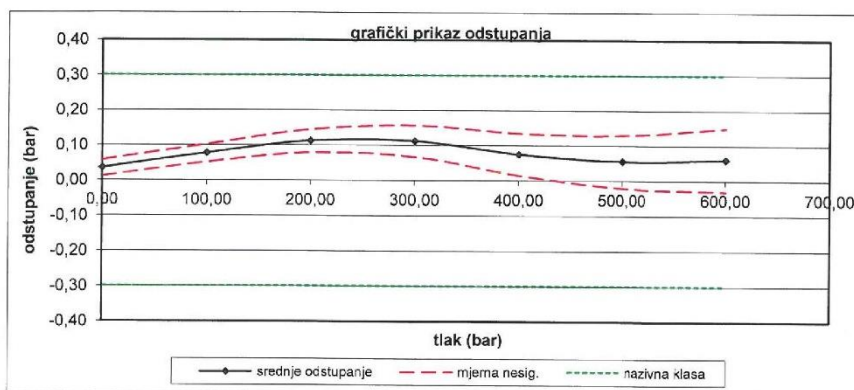
stranica 3 od 3  
page from



Rezultati mjerenja:  
Measurement results:

Red. br.	Etalonski tlak $p_e$ (bar)	Očitavanje na umjeravanom mjerilu			
		uzlazno M1 (bar)	silazno M2 (bar)	uzlazno M3 (bar)	silazno M4 (bar)
1	0,00	-0,02	0,05	0,03	0,04
2	100,02	100,10	109,09	100,09	109,11
3	200,03	200,12	200,15	200,14	200,16
4	300,03	300,14	300,14	300,13	300,16
5	400,04	400,11	400,12	400,10	400,13
6	500,04	500,09	500,11	500,08	500,10
7	600,03	600,08	600,09	600,11	600,08

Red. br.	Etalonski tlak $p_e$ (bar)	Srednja vrijednost $M_{sr}$ (bar)	Mjerni odmak $M_{sr} - p_e$ (bar)	Histereza $h$ (bar)	Ponovljivost $b$ (bar)	Mjerna nesigurnost $U$ (bar)
1	0,00	0,04	0,04	0,02	0,01	0,02
2	100,02	100,10	0,08	0,01	0,02	0,03
3	200,03	200,14	0,11	0,03	0,02	0,03
4	300,03	300,14	0,11	0,02	0,02	0,05
5	400,04	400,12	0,07	0,02	0,01	0,06
6	500,04	500,10	0,06	0,02	0,01	0,08
7	600,03	600,09	0,06	0,02	0,03	0,09



Mjerenje obavio / Measured by:

Davor Matavulj

Kraj Potvrde o umjeravanju  
End of Calibration certificate

BMB Laboratorij Breković – Umjerni laboratorij  
10040 ZAGREB, Čulinečka cesta 87, tel.: ++385 (1) 2866-893, 2915-987, fax: ++385 (1) 2866-892  
IBAN: HR2623400091160428706 Privredna banka, MBO: 90741587, OIB: 47590958254  
e-mail: info@bmb-laboratorij.hr, www.bmb-laboratorij.hr

UF19/11

